This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Lehrbuch

der

Physik,

nach dem gegenwärtigen Standpuncte dieser Wissenschaft bearbeitet, zum Gebrauche bei Vorlesungen auf höheren Gymnasien und mit besonderer Berücksichtigung von Militairbildungsanstalten,

von

C. F. Peschel,

Hauptmann und Lehrer der Kriegs- und Naturwissenschaften an der Königl. Sächs. Militairbildungsanstalt, der naturforschenden Gesellschaft zu Dresden wirklichem und der ökonomischen Gesellschaft im Königreich Sachsen Ehren-Mitgliede.

NEW-YORK LIBRARY

Mit 13 Steindrucktafeln und 25 Tabellen.

Dresden und Leipzig,
in der Arnoldischen Buchhandlung.
1844.

Sr. Excellenz

dem Königl. Sächs. Herrn Generallieutnant

VON SCHREIBERSHOFEN,

Commandant der Militairbildungsanstalt, Offizier des Königl. Franz. Ordens der Ehrenlegion, Ritter des Königl. Franz. Militair-Verdienst-Ordens, Commandeur des Königl. Grofsbritannischen Bath-Ordens, Ritter des Kaiserl. Russ. St. Annen-Ordens zweiter Classe.

Ew. Excellenz.

Die wohlwollende Güte, deren sich Jeder erfreut, welcher das Glück hat, unter Ihrer weisen Fürsorge und Obhut an einem Institute zu wirken, welches insonderheit Ihnen seinen begründeten Ruf verdankt, ermuthigt mich, Ew. Excellenz diese Bogen, in welchen eine auch dem Krieger immer unentbehrlicher werdende Wissenschaft abgehandelt ist, so ehrerbietig als vertrauungsvoll zu überreichen.

Das gröfste Glück würde mir zu Theil werden, wenn Ew. Excellenz darin mein Bestreben erkennten, meiner Pflicht als Lehrer auch in diesem Fache zu genügen.

Ew. Excellenz

hochverehrender

C. F. Peschel.

Vorrede.

Unter allen Wissenschaften sind wohl unbestreitbar Physik und Chemie diejenigen, welche namentlich in den beiden letzten Decennien dieses Jahrhunderts in auffallend steigender Progression sich erweiterten und in gleichem Maße auch verbreiteten, so daß es schon jetzt keinen Zweig der Kunst und Technik giebt, der diesen Wissenschaften nicht mancherlei Vervollkommnungen verdankte, der sich dieselben nicht wenigstens theilweise schon dienstpflichtig gemacht hätte. Jedenfalls hat auch diese Richtung wesentlich zu den Riesenfortschritten jener Wissenschaften beigetragen, und diese wieder haben die Nothwendigkeit hervorgerufen, daß sich die Lehr- und Handbücher darüber mit diesen Fortschritten vermehrten, um den verschiedenen Ansprüchen und Bedürfnissen zu entsprechen. Diese Forderung unserer Zeit ist auch nicht unbeachtet geblieben. Wir verdanken den tüchtigsten Männern vom Fach viele Schriften, die diesen Bedürfnissen abhalfen. Was die Physik betrifft, so ist mir aber kein neueres Lehrbuch bekannt, in welchem darauf hingewiesen wäre, was dem sich wissenschaftlich bildenden Krieger und was insbesondere für die Militair-Technik nützlich und folgereich werden kann, und doch wird die Physik seit vielen Jahren schon an allen höheren Militair-Bildungsanstalten als unentbehrliche Hilfswissenschaft gelehrt. Seit einem mehr als zwanzigjährigen

welche derselbe ausschliefslich nach der Undulationstheorie bearbeitet und erklärt hat. Der Verfasser war der Ueberzeugung, bei Bearbeitung dieses Abschnittes ein besseres Vorbild nicht wählen zu können, und ihm daher im Ganzen dieselbe systematische Anordnung geben zu müssen (s. Nachwort). In der diesem Abschnitte sich anschliefsenden Lehre vom Schall wird man von dem musikalischen Theile nur das Wesentlichste kurz angeführt finden, da auch dieſs ein Gegenstand war, für den, dem Zwecke dieses Buches zufolge, eine solche Abkürzung statthaft erschien.

Bei der zweiten, der Lehre der Imponderabilien bestimmten Abtheilung wurden, neben der Undulationstheorie, auch die älteren noch von vielen Physikern beibehaltenen Hypothesen benutzt, um die wichtigsten Erscheinungen dieser Naturkräfte zu erklären, und auch hier manche Lehren, wie z. B. die der Erscheinungen der Interferenz, der Beugung und Polarisation des Lichtes, zum Theil auch die der strahlenden Wärme, ohne jedoch die systematische Vollständigkeit aufzugeben, in einer dem Ganzen entsprechenden Kürze abgehandelt. Die Bearbeitung der Elektricitätslehre, die durch ihren in der neueren Zeit erlangten bedeutenden Umfang, durch die vielseitige Anwendung, die sie gefunden hat, und namentlich wegen der verschiedenen theoretischen Ansichten hinsichtlich des Ursprunges der Volta'schen Elektricität, über deren Richtigkeit das *votum decisivum* noch bis zum heutigen Tage nicht ausgesprochen ist, war eine der schwierigsten, und zwar namentlich für die Theorie des Voltaismus. Nothwendig schien es dem Verfasser, sich dabei vorzugsweise einer Ansicht anzuschliefsen, und zwar entschied er sich dabei für die Contacttheorie, unterliefs aber auch nicht, die hauptsächlichsten Beweisgründe anzuführen, welche vorzugsweise als Stütze der chemischen Theorie gelten, so wie am Schlusse auch der Versuch einer vermittelnden Theorie mit aufgenommen wurde.

Den Schluss macht die Elektrodynamik, deren wichtige und umfangreiche Lehren hier als Ganzes in zwei Abtheilungen zusammengestellt wurden, wovon die erste über diejenigen Erscheinungen handelt, bei welchen die Elektricität magnetische Wirkungen hervorbringt, den sogenannten Elektro-Magnetismus, und die zweite die Erscheinungen kennen lehrt, bei welchen aus der Inductionswirkung elektrischer Ströme und durch Magnete elektrische Erscheinungen entspringen, nämlich den Magneto-Elektrismus. Die Absicht, keine wichtige Entdeckung und Berichtigung im Gebiete der Physik bis zur neuesten Zeit unerwähnt zu lassen, hat für einige bereits gedruckt gewesene Paragraphen Nachträge nothwendig gemacht, die dem Schlusse des Ganzen beigefügt worden sind.

Außerdem mag noch bemerkt werden, daß die in den einzelnen Paragraphen aufgenommenen Hauptsätze mit größeren Lettern gedruckt wurden, während die für diese als Ergänzung und Erläuterung dienenden Zusätze in kleinerer Schrift beigefügt worden sind, eine Einrichtung, die jetzt bei fast allen größeren Lehrbüchern der Physik besteht, weil dadurch sowohl beim Lehren als beim Selbststudium die Gelegenheit gegeben ist, den in Betracht gezogenen Gegenstand nach Erfordern noch näher kennen zu lernen. Diese Zusätze enthalten auch meist die mathematische Begründung der Lehren, so weit diese durch die Elementarmathematik gegeben werden konnte, und da Versuche dazu dienen, den theoretischen Sätzen das Gepräge der Wahrheit zu verschaffen, so wurden auch diese hierin mit aufgenommen, wobei man die weniger wichtigen und allgemeiner bekannten meist nur kurz angedeutet, die wichtigeren und minder bekannten dagegen genauer beschrieben findet. Eben so wurden auch in den nothwendigen Figurentafeln die vorzüglichsten Apparate so genau, als es die Kleinheit des Maßstabes gestattete, dargestellt, und die Zeichnungen so viel als

Polytechnisches Central-Blatt, von *J. A. Hülse* u. *A. Weinlich.*
Polytechnisches Journal, von *J. G.* u. *E. M. Dingler.*
Zeitschrift für Physik etc., von *A. Baumgartner.*

In wie weit es mir aber gelungen sein wird, der oben aufgestellten Forderung durch meine Arbeit zu entsprechen, darüber werden billige Sachverständige entscheiden; von meiner Seite aber mögen sie die aufrichtige Versicherung entgegennehmen, dafs nur das Bestreben, meinem Berufe als Lehrer auch in diesem Fache zu genügen, die Veranlassung zur Herausgabe dieser Bogen wurde, und dafs ich dankbar jede mir mitgetheilte Berichtigung annehmen und beachten werde, um, sollte dem Buche ein solcher Beifall zu Theil werden, dafs eine neue Auflage nothwendig würde, bei dieser darauf die gebührende Rücksicht zu nehmen.

Dresden, im December 1843.

Der Verfasser.

Inhalt.

		Paragraph.	Seite.
Einleitung		1—5	1

Physik der wägbaren Stoffe.

I. Abschnitt.

1.	Von den physikalischen Eigenschaften der Naturkörper	6—12	8
2.	Von den Naturkräften überhaupt	13—16	16
3.	Von den Molecularkräften im Allgemeinen	17—19	17
4.	Von den Gravitationskräften im Allgemeinen	20	21

II. Abschnitt.

1.	Von der Bewegung im Allgemeinen	21—33	22
2.	Von den Erscheinungen, welche durch die Gravitationskräfte hervorgebracht werden	34—53	34
	Von dem Drucke, dem absoluten und specifischen Gewicht	36	36
	Vom freien Fall	37—39	37
	Vom Fall auf der schiefen Ebene	40—42	43
	Von der Wurfbewegung	43—48	48
	Von der Centralbewegung	49—53	53
3.	Von den verschiedenen Erscheinungen der Adhäsion	54—62	60
4.	Von den Hauptercheinungen der chemischen Anziehung	63—89	71

III. Abschnitt.

	Paragraph.	Seite.
Von den starren Körpern	90—145	101
1. Eigenschaften der starren Körper	90—87	101
2. Vom Schwerpunkte	98—102	121
3. Vom Pendel	103—108	127
4. Vom Stofse starrer Körper	109—115	134
5. Vom Gleichgewicht starrer Körper und von den einfachen Maschinen	116—137	144
Der Hebel	118—123	146
Die Rolle	124—127	151
Das Rad an der Welle	128—130	155
Die schiefe Ebene	131—132	160
Der Keil	133	163
Die Schraube	134—137	165
6. Von den Hindernissen der Bewegung . .	138—145	169

IV. Abschnitt.

Von den tropfbar flüssigen Körpern .	146—183	184
1. Eigenschaften der tropfbar flüssigen Körper	146—150	184
2. Vom Drucke tropfbarer Flüssigkeiten . .	151—159	186
3. Erscheinungen tropfbarer Flüssigkeiten im Zustande des Gleichgewichts und der Bewegung	160—170	194
4. Gleichgewicht tropfbar flüssiger und starrer Körper	171—177	210
5. Von der Bestimmung der specifischen Gewichte der Körper	178—183	220

V. Abschnitt.

Von den elastisch flüssigen Körpern .	184—213	230
1. Eigenschaften der elastisch flüssigen oder luftförmigen Körper	184—189	230
2. Erscheinungen der atmosphärischen Luft, welche eine Folge ihrer Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit sind . . .	190—195	235
3. Von der Schwere und dem Drucke der Atmosphäre und den daraus entspringenden Erscheinungen	196—201	249
4. Von dem Gesetze der Dichtheit und Elasticität der Atmosphäre, der Veränderlichkeit von beiden, dem darauf beruhenden Barometer und dessen verschiedener Anwendung	202—207	267

	Paragraph.	Seite.
5. Verhalten fester Körper und Gase in der Atmosphäre hinsichtlich ihrer verschiedenen Dichtheit und den hauptsächlichen Ursachen der Bewegungen in der Atmosphäre . .	208—213	292

VI. Abschnitt.

Von der Wellenbewegung	214—235	303
1. Wellenbewegung starrer Körper	217—221	308
2. - tropfbar flüssiger Körper	222—229	313
3. - elastischer Flüssigkeiten	230—235	328

VII. Abschnitt.

Von den schallenden Bewegungen der Körper oder der Akustik	236—274	328
1. Erzeugung des Schalles	236—259	328
Vom Schalle überhaupt u. vom Klange	236—239	328
Von dem verschiedenen Charakter des Klanges, dem Tone und den Tonverhältnissen	240—243	332
Von den tönenden Schwingungen gespannter Saiten und elastischer Stäbe	244—248	337
Von den tönenden Schwingungen elastischer Scheiben und Glocken . .	249—250	342
Entstehung der Töne durch Luftschwingungen	251—254	345
Von dem Stimmorgane	255—258	348
Von dem Mittönen klangfähiger Körper	259	351
2. Fortpflanzung des Schalles	260—274	352
Fortpflanzung des Schalles durch die atmosphärische Luft, durch Wasser und feste Körper	260—263	352
Von der Stärke oder Intensität des Schalles	264—269	356
Erscheinungen, welche eine Folge der Zurückwerfung der Schallwellen sind	270—272	360
Von der Wahrnehmung des Schalles durch das Gehörorgan	273—274	364

Physik der unwägbaren Stoffe.

Von den unwägbaren Stoffen oder ätherischen Potenzen im Allgemeinen	275—277	367

I. Abschnitt.

	Paragraph.	Seite.
Das Licht	278—366	371
1. Vom Lichte im Allgemeinen	278—281	371
2. Von der Verbreitung des Lichtes. Optik .	282—291	377
3. Von der Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes. Katoptrik	292—303	393
Erscheinungen in Planspiegeln . . .	295—296	396
— in sphärischen und gemischten Spiegeln	297—303	400
4. Von der Brechung (Refraction) des Lichtes. Dioptrik	304—317	413
Erscheinungen der Lichtbrechung in Mitteln, welche von ebenen Flächen begrenzt sind	307—311	422
Erscheinungen der Lichtbrechung in Gläsern mit gekrümmten Oberflächen	312—317	429
5. Von der doppelten Brechung des Lichtes oder der doppelten Strahlenbrechung	318—319	441
6. Von dem farbigen Lichte	320—330	446
7. Von den durch Interferenz entstehenden Lichterscheinungen	331—332	467
8. Von den Erscheinungen der Lichtbeugung. Difraction	333	472
9. Von der Polarisation des Lichtes	334—341	474
Erscheinungen des durch Reflexion und Refraction polarisirten Lichtes . .	336—338	477
Farbige Lichterscheinungen im polarisirten Lichte	339—341	484
10. Von dem Auge und den verschiedenen durch dasselbe vermittelten Erscheinungen des Sehens	342—354	489
Von den subjectiven Farben	354	503
11. Von den vorzüglichsten optischen Instrumenten	355—362	506
Die dunkele Kammer oder Camera obscura	355	506
Von den vorzüglichsten Arten der Mikroskope	356—358	508
Von den verschiedenen Arten der Fernröhre	359—362	514
12. Von den verschiedenen nicht optischen Wirkungen des Lichtes	363	524

II. Abschnitt.

	Paragraph.	Seite.
Die Wärme	364—436	530
1. **Von den Wirkungen und verschiedenen Zuständen der Wärme im Allgemeinen** . .	364—367	530
2. **Von den Veränderungen des Volumens der Körper durch die Wärme**	368—383	533
Von der Thermometrie oder den Messwerkzeugen der freien Wärme . .	369—377	535
Verschiedenheit der Raumesänderung der Körper nach ihrem Aggregatzustande	378—383	547
3. **Bewegung oder Verbreitung der Wärme** .	384—398	559
Von der strahlenden Wärme	385—394	560
Von der Fortleitung der Wärme im Innern der Körper	395—398	573
4. **Von der Wärmecapacität, der specifischen und relativen Wärme der Körper** . . .	399—403	578
5. **Veränderungen des Aggregatzustandes der Körper durch die Wärme**	404—411	594
6. **Von den Dämpfen und Dünsten in Bezug auf ihre besonderen Eigenschaften gegen die permanenten Gase**	412—423	621
Hygrometrie	422—423	634
7. **Von der Anwendung der Wasserdämpfe zu technischen Zwecken**	424—428	641
8. **Von den verschiedenen Wärmequellen** . .	429—435	666
9. **Schlussbetrachtungen über das Wesen des Lichtes und der Wärme**	436	677

III. Abschnitt.

Der Magnetismus	437—468	683
1. **Von den Erscheinungen und Wirkungen des Magnetismus im Allgemeinen**	437	683
2. **Magnetismus des Eisenerzes und Stahles** .	438—446	684
3. **Magnetismus der Erde. Tellurischer Magnetismus**	447—456	697
4. **Von der künstlichen Erregung des Magnetismus, den Mitteln, ihn zu erhalten und zu verstärken, so wie von den verschiedenen Ursachen, wodurch derselbe geschwächt oder sogar vernichtet wird**	457—468	725

IX.	Tabelle	über das Maſs der relativen Festigkeit einiger der wichtigsten Körper.
X.	-	über das Maſs der rückwirkenden Festigkeit einiger der wichtigsten Körper.
XI.	-	über die verschiedene Dichte und das verschiedene Volumen des Wassers bei verschiedenen Wärmegraden.
XII.	-	über die specifischen Gewichte der vorzüglichsten Körperstoffe.
XIII.	-	Reductionen der Beaumé'schen Aräometergrade auf das specifische Gewicht.
XIV.	-	über das specifische Gewicht der Gemenge von Alkohol und Wasser dem Volumen nach, von Tralles, und Vergleichung der Gewichts-Aräometergrade von Richter mit denen von Tralles.
XV.	-	Gauſs's Tafeln zu barometrischen Höhenberechnungen.
XVI.	-	über die Längenausdehnung verschiedener fester Körper beim Erwärmen von 0° bis 100° C.
XVII.	-	über die specifische und relative Wärme der Körper und das Verhältniſs der specifischen Wärme zu den Atomgewichten.
XVIII.	-	über die Elasticität des Wassergases von — 50° R. bis 0°.
XIX.	-	über die Spannkraft und Dichtigkeit der Wasserdämpfe bei den Temperaturen von 0° bis 80° R. nach Arzberger's Formel berechnet.
XX. XXI.	-	über die Spannkraft des Wasserdampfes von 1 — 50 Atmosphären.
XXII.	-	über die Expansivkräfte gesättigter Wasserdämpfe nach Atmosphären.
XXIII.	-	zur Auffindung der Spannkraft der Wasserdämpfe im Maxime der Dichtigkeit durch das Psychrometer in Quecksilbersäulen nach Pariser Linien ausgedrückt.
XXIV.	-	zur Auffindung der Subtrahenden für die Ermittelung der Expansivkräfte.
XXV.	-	zur Bestimmung der Stärke hydroelektrischer Ströme, aus der Gröſse der Ablenkungswinkel einer einfachen Galvanometer-Bussole.

Physik
der unwägbaren Stoffe.

Von den unwägbaren Stoffen oder ätherischen Potenzen im Allgemeinen.

§. 275.

Aufser den Erscheinungen, welche wir im vorigen Theile der Physik an den Naturkörpern kennen lernten, zeigen sich an diesen noch manche andere eigenthümliche Phänomene, die wir nicht als unmittelbar aus den allgemeinen Grundkräften der Materie hervorgehend annehmen können. Es sind diefs die Erscheinungen des Lichtes, der Wärme, des Electrismus und des Magnetismus.

Das Charakteristische bei diesen Erscheinungen besteht darin, dafs wir dieselben an den Körpern, wo sie erscheinen, meist nicht bleibend, sondern nur vorübergehend wahrnehmen, und dafs unsere Sinne durch sie auf eigenthümliche Weise afficirt werden. Durch das Licht wird ausschliefslich unser Gesichtsinn, durch die Wärme das Gemeingefühl auf besondere Weise angeregt, der Electrismus dagegen wirkt auf alle unsere Sinne ein, während der Magnetismus unmittelbar einen bemerkbaren Einfluſs auf keinen derselben ausübt. Das Licht zeigt sich uns als

dem ganzen Weltraume angehörig, kosmisch, wogegen Wärme, Electrismus und Magnetismus bis jetzt nur als auf der Erde vorhanden, tellurisch, nachgewiesen werden können, wiewohl es wahrscheinlich ist, dafs auch diese kosmisch sein mögen.

§. 276.

Ueber die Ursachen oder das Wesen dieser Erscheinungen herrschen hauptsächlich zwei Ansichten.

Ein Theil der Naturforscher nimmt dafür eine eigenthümliche Art von Stoffen an, welche sich aber von der Materie der Naturkörper wesentlich darin unterscheiden, dafs sie nicht so wie diese der Erdanziehung unterworfen sind, also kein Gewicht haben, daher auch die Benennung unwägbare Stoffe oder Imponderabilien, und dafs sie alle Körpermaterie durchdringen, daher auf keinerlei Weise von körperlichen Dingen abgesperrt oder eingeschlossen werden können, weshalb man sie auch unsperrbare Stoffe oder Incoercibilien genannt hat.

Andere Naturforscher betrachten sie nur als eine Folge besonderer Kraftäufserungen auf die Materie, und zwar durch Vermittelung eines hypothetisch angenommenen Urstoffes, des Aethers, einer unwägbaren höchst elastischen Flüssigkeit, welche das ganze Universum, so wie alle die Räume erfüllen soll, die zwischen den Atomen der Naturkörper vorhanden sind; daher die Benennung ätherische Potenzen.

§. 277.

Aufserdem ist diesen ätherischen Potenzen, deren eigentliches Wesen für uns noch in räthselhaftes Dunkel gehüllt bleibt, eine ganz eigenthümliche Thätigkeit inwohnend, nämlich die sogenannte Polarität. Am be-

stimmtesten und ausgebildetsten tritt sie bei'm Electrismus und Magnetismus auf, und streng genommen beruht auf ihr die ganze, von uns bis jetzt wahrgenommene Wirksamkeit dieser Potenzen. Das Wesen dieser Polarität besteht in dem Vereinigungsstreben zweier durch Trennung entstandener Gegensätze, polarer Kräfte, und in dem Anregungsstreben jeder einzelnen polaren Kraft, in anderen Körpern ihren Gegensatz hervorzurufen, weshalb sich auch gleichartige polare Kräfte stets zu fliehen oder abzustofsen suchen. Tritt eine Vereinigung jener entgegengesetzten Kräfte wirklich ein und erfolgt sie in dem Mafse, dafs sich die Gegensätze wechselseitig vernichten oder aufheben, so hört dann alle äufsere Wirkung auf, es ist zwischen den polaren Kräften Neutralisation oder der Zustand des Gleichgewichtes und der Ruhe eingetreten. Polare Thätigkeit setzt daher stets eine bereits erfolgte Aufhebung oder Störung des Gleichgewichtes der polaren Kräfte durch äufsere Ursachen voraus, und es währt diese so lange, bis eine völlige Neutralisation der Gegensätze erfolgt. In einem solchen Zustande der Thätigkeit heifst dann ein Körper polarisirt, und die Stellen, an welchen sich die beiden polaren Kräfte am wirksamsten zeigen, führen den Namen Pole. Da in der Mathematik entgegengesetzte Gröfsen durch + und — ausgedrückt werden, so hat man diese Zeichen ebenfalls auf jene Kräfte übertragen, wonach dann das Polaritätsgesetz auch so ausgedrückt wird: + und — Polarität äufsert das Bestreben gegenseitiger Anziehung, + und + oder — und — Polarität das gegenseitiger Abstofsung, und gleichgrofse + und — Polarität erzeugt 0, d. h. Neutralisation, Gleichgewicht oder Ruhe.

Durch die bedeutenden Fortschritte, welche man in neuerer Zeit in diesem Gebiete der Naturlehre gemacht hat, durch die auffallenden Analogieen, welche sich zwischen Licht und Wärme, Electrismus und Magnetismus zeigen, so wie durch die ge-

genseitige Hervorrufung dieser vier verschiedenartigen Haupterscheinungen, ist man zu der Schlufsfolge gelangt, dafs wahrscheinlich die Erscheinungen dieser vier ätherischen Potenzen nur Modificationen einer höheren von uns noch nicht erkannten Kraft sind, welche vielleicht auch bei der allen Organismen inwohnenden immer noch räthselhaften Lebensthätigkeit eine wichtige Rolle spielen dürfte.

Erster Abschnitt.

Das Licht.

I. Vom Lichte im Allgemeinen.

§. 278.

Das Licht bewirkt das Sichtbarwerden aller Aufsendinge. Das vermittelnde Organ, wodurch uns die Kenntnifs von der Aufsenwelt erst zu Theil wird, ist unser Auge, indem durch dieses das Licht unseren Sehnerv unmittelbar afficirt. Aufser dieser Hauptwirkung besitzt das Licht aber auch noch die Eigenschaft zu erwärmen, chemische, elektrische und magnetische(?) Wirkungen hervorzubringen, so wie es auch einen sehr wesentlichen Einfluſs auf alle Organismen ausübt.

In den folgenden Capiteln sollen die Erscheinungen aufgeführt und erklärt werden, welche aus der erstgenannten Hauptwirkung des Lichtes entspringen, und von den anderen erwähnten Eigenschaften wird das Wichtigste zum Theil am Schlusse dieses Abschnitts, zum Theil in den Abschnitten über Wärme, Electrismus und Magnetismus vorkommen.

§. 279.

Um sich die verschiedenen Erscheinungen und Wirkungen des Lichts gehörig zu erklären, wäre es nothwendig, das Wesen oder die Natur des Lichts gehörig zu kennen; da uns eine solche Kenntnifs aber bis jetzt noch mangelt, so hat man seine Zuflucht zu Hypothesen nehmen müssen, von welchen besonders folgende zwei, nämlich die sogenannte Emanations- oder Corpuscular

hesen findet man in Baumgarten's Naturlehre. Suppl. dem s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 309 — 377.

§. 280.

iehung auf die Hervorbringung von Licht theilt rper ein in **selbstleuchtende** und **dunkele**. **tleuchtende Körper** sind die verschiedenen , von welchen das Licht ausgeht, und die auf selbst sichtbar werden. Der wichtigste perstleuchtende Körper ist die **Sonne**, ihr ähnlich **ixsterne**, in ihren Wirkungen, aber vergegen jene; aufserdem werden die **brennen**er, welche zwar nur mit vorübergehender it als selbstleuchtend auftreten, für uns die n Lichtquellen.

der Emanationstheorie strömt von diesen Körpern off ununterbrochen aus; nach der Undulationstheorie erflächen solcher Körper in einer Schwingungsbegriffen, welche sich dem Aether mittheilt; sie sind n tönenden Körpern ähnlich.

rschiedenen als Lichtquellen geltenden selbstleuchper lassen sich, der äufseren Form ihrer Entstehung auf folgende Arten zurückführen

quellen des Lichtes. Alle selbstleuchtende Him; für uns, wie schon erwähnt, vorzüglich die Sonne.

misches Licht oder dasjenige, welches aus mungsprocesse entspringt.

ctrisches Licht, welches bei der Thä eit des in verschiedenen Modificationen zu chein e sich in dem Abschnitte über die E lehre

onslicht, welches sich dur der der auch verschiedenartiger n- aller ohne Ausnahme, erze asen, wo kein Verbrennen l (nach *Heinrich*) entste wenn auch bei verbre issenen Theilchen nicht — Aehnliche Lichtersch Zerreifsen einiger feste bei schneller Verdichtu

these und die Vibrations- oder Undulations-Hypothese die herrschendsten sein.

Nach der Emanations-Hypothese ist das Licht ein unwägbarer Stoff, dessen ungemein feine Theilchen durch ihre Einwirkung auf unser Auge die Empfindung des Sehens hervorbringen, ungefähr eben so, wie die feinen Theilchen eines riechbaren Stoffes, die unsere Geruchsnerven berühren, den Geruch erzeugen. Diese Lichtatome sind aber sowohl den anziehenden, als den abstofsenden Kräften der Körper unterworfen, an deren Oberfläche sie sich befinden, zeigen aber in Bezug auf diese Kräfte ein verschiedenes Beharrungsvermögen, d. h. sie folgen denselben mit einer verschiedenen Geschwindigkeit.

Der Begründer dieser Hypothese war *Newton*, weiter ausgebildet wurde sie von *Biot* und *Laplace*.

Nach der Undulations-Hypothese ist der überall verbreitete Aether (§. 276) die Ursache des Lichtes. Als eine höchst feine und elastische Flüssigkeit, deren Dichtheit und Elasticität aber veränderlich ist, besitzt er die Fähigkeit, in Vibrationen oder Wellenbewegungen zu gerathen. Erlangen diese eine gewisse Geschwindigkeit, und pflanzen sich die Aetherwellen bis in unser Auge fort, so erzeugen sie die Empfindung des Sehens auf eine ähnliche Weise, wie die Schallwellen der Luft die Empfindung der Hörens hervorrufen. Für die meisten Lichterscheinungen lassen sich daher auch ganz ähnliche des Schalles nachweisen.

Diese Hypothese wurde früher von *Descartes*, *Huyghens* und vorzüglich von *Euler* begründet, in neuerer Zeit aber von *Young*, *Fresnel*, *Fraunenhofer*, *Herschel* und anderen Naturforschern angenommen und weiter ausgebildet.

Nach beiden Theorieen lassen sich die meisten Lichterscheinungen genügend erklären, jedoch können mehre der neu entdeckten Eigenschaften des Lichtes befriedigender nach der zweiten Hypothese abgeleitet werden, weshalb auch diese jetzt die meisten Anhänger zählt. Eine mathematische Ausführung bei-

der Hypothesen findet man in Baumgarten's Naturlehre. Suppl. Bd. Aufserdem s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 309 — 377.

§. 280.

In Beziehung auf die Hervorbringung von Licht theilt man die Körper ein in selbstleuchtende und dunkele.

Selbstleuchtende Körper sind die verschiedenen Lichtquellen, von welchen das Licht ausgeht, und die auf diese Weise selbst sichtbar werden. Der wichtigste permanent selbstleuchtende Körper ist die Sonne, ihr ähnlich sind die Fixsterne, in ihren Wirkungen, aber verschwindend gegen jene; aufserdem werden die brennenden Körper, welche zwar nur mit vorübergehender Wirksamkeit als selbstleuchtend auftreten, für uns die brauchbarsten Lichtquellen.

Nach der Emanationstheorie strömt von diesen Körpern der Lichtstoff ununterbrochen aus; nach der Undulationstheorie sind die Oberflächen solcher Körper in einer Schwingungsbewegung begriffen, welche sich dem Aether mittheilt; sie sind demnach den tönenden Körpern ähnlich.

Die verschiedenen als Lichtquellen geltenden selbstleuchtenden Körper lassen sich, der äufseren Form ihrer Entstehung nach, etwa auf folgende Arten zurückführen

1.) Urquellen des Lichtes. Alle selbstleuchtende Himmelskörper; für uns, wie schon erwähnt, vorzüglich die Sonne.

2.) Chemisches Licht oder dasjenige, welches aus dem Verbrennungsprocesse entspringt.

3.) Electrisches Licht, welches bei der Thätigkeit des Electrismus in verschiedenen Modificationen zum Vorschein kommt, wie sich in dem Abschnitte über die Electricitätslehre zeigen wird.

4.) Frictionslicht, welches sich durch Reibung oder Schlag gleich- oder auch verschiedenartiger Körper an einander, jedoch nicht aller ohne Ausnahme, erzeugt, auch im luftleeren Raume, in Gasen, wo kein Verbrennen stattfindet, selbst unter Wasser und Oel (nach *Heinrich*) entsteht, scheint electrischer Natur zu sein, wenn auch bei verbrennlichen Körpern ein Erglühen der losgerissenen Theilchen nicht zu leugnen ist (Pogg. Ann. XXXX. 655). — Aehnliche Lichterscheinungen zeigen sich beim Spalten oder Zerreifsen einiger fester, namentlich krystallisirter Körper, ferner bei schneller Verdichtung und Aus-

dehnung von Gasen und bei'm schnellen und starken Zusammendrücken tropfbarer Flüssigkeiten.

Phosphorescirendes Licht ist solches, welches von manchen Körpern bei niederer Temperatur und ohne wesentliche Veränderung ihrer Beschaffenheit ausgeht, aber so schwach ist, dafs es nur im Dunkeln deutlich bemerkbar wird. Das Leuchten des gewöhnlichen Phosphors, an welchem diese Eigenschaft am deutlichsten hervortritt, ist eine chemische Lichterscheinung, indem es nur dann stattfindet, wenn sich derselbe mit Sauerstoff oder Chlor verbinden kann. Man unterscheidet hierbei:

5) Die Phosphorescenz durch Bestrahlung (Insolation). Es ist diefs das Vermögen vieler Körper, wenn sie eine Zeit lang dem Tages- oder Sonnenlichte ausgesetzt gewesen, dann noch im Dunkeln zu leuchten. *Wall* entdeckte diese Eigenschaft zuerst am Diamant, später aber fand man sie auch an mehren anderen Mineralien auf, namentlich bei einigen Flufsspatharten. Aufserdem gibt es auch mehre künstliche chemische Zusammensetzungen, wie den Bologneser Leuchtstein, den Canton'schen, Balduin'schen und Osann'schen Phosphor, deren Leuchtkraft durch Insolation mehre Stunden anhält. Sie hört selbst dann nicht auf, wenn die Phosphore in's Wasser oder in Gase gebracht werden, welche kein Verbrennen gestatten. Alle diese Körper und noch mehre andere leuchten auch, wenn sie im Dunkeln erwärmt werden. Die Ursache dieser Phosphorescenz ist bis jetzt mit Bestimmtheit noch nicht ermittelt worden. (Ueber die Bereitung dieser sogenannten Leuchtsteine s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VII., 236 — 253, Marbach. phys. Lex. III. 3.8. Fechner's Hauslexikon V. 313, so wie in Pogg. Ann. XXXXVI. 612 das Daguerre'sche Verfahren beschrieben ist, durch welches dem Schwerspathe eine sehr lebhafte Phosphorescenz zu ertheilen ist.)

6.) Die Phosphorescenz abgestorbener organischer Reste. Von Pflanzenresten ist diese Erscheinung bei'm faulen Holze am bekanntesten; bei todten Thieren zeigt sie sich besonders an Seefischen, auf welchen sich ein leuchtender Schleim bildet. Lebendige leuchten nur durch anhängende Seegewürme. Bei diesen organischen Resten scheint der Grund der Phosphorescenz von einer schwachen Verbrennung herzurühren, da die Lichtentwickelung mit der Luftverdünnung abnimmt.

7.) Die Phosphorescens lebender Organismen. Bei Pflanzen hat man eine solche Erscheinung namentlich an der Ringelblume und der feuergelben Lilie bei ganz heiterer Luft nach Sonnenuntergang, im Juli und August, wahrgenom-

men. Wahrscheinlich ist sie electrischer Natur. Das Phosphoresciren mancher Thiere, wie das mehrer Infusorien, durch welche das Meer oft in grofsen Strecken leuchtend erscheint, das mehrer Zoophyten, Mollusken, Crustacen und Insecten, namentlich des Laternenträgers, Skolopenders und des Johanniswürmchens bleibt problematisch. Im luftleeren Raume und in allen nicht athembaren Gasarten verlischt es, nimmt dagegen im Sauerstoffgase zu. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 303. VII. 272, Gmelin's Chemie, 3te Auflage, I. 75. 79, Biot's Experimentalphysik von Fechner IV. 243. V. 253. 270.)

Dunkele Körper sind alle die, welche für uns nur so lange sichtbar sind, als sie vom Lichte selbstleuchtender getroffen werden. In diesem Zustande heifsen sie dann **beleuchtet.**

Nach der Emanationshypothese werden dunkele Körper dadurch sichtbar, dafs sie den Lichtstoff, der auf sie trifft, wieder zurückstofsen; nach der Undulationshypothese werden die Aetherwellen von den Oberflächen dieser Körper wieder zurückgeworfen, ungefähr so wie Schallwellen bei'm Echo (§. 211).

Zu den durch zurückgeworfenes Licht leuchtenden Weltkörpern gehören die Planeten, ihre Monden und wahrscheinlich auch zum Theil die Kometen.

§. 281.

Rücksichtlich der Fortpflanzung des Lichtes durch die Körpermaterie unterscheidet man **durchsichtige** und **undurchsichtige Körper.**

Die **durchsichtigen Körper** sind solche, welche dem Lichte einen ungehinderten Durchgang durch ihre Materie gestatten, oder welche die Eigenschaft besitzen, dafs man andere Körper durch sie hindurch in ihren Formen mehr oder weniger deutlich wahrnehmen kann, wie diefs z. B. bei der Luft, dem Wasser und dem Glase der Fall ist.

Vollkommen durchsichtige Körper giebt es aber nicht, denn ein solcher Körper müfste alles auffallende Licht durchlassen und gar keines zurückwerfen, wo er dann selbst nicht sichtbar sein könnte. Je mehr Licht ein Körper daher

durch sich hindurch läfst und je weniger er zurückwirft, desto durchsichtiger ist derselbe. Folgender Versuch wird dieſs von einem der durchsichtigen Körper nachweisen.

Erster Versuch. Man lasse in ein verfinstertes Zimmer einen Sonnenstrahl auf die Oberfläche von Wasser fallen, welches sich am beſsten in einem Glasgefäſse mit parallelen Seitenwänden befindet. Der Sonnenstrahl wird seinen Weg durch das Wasser fortsetzen, zugleich wird man aber auch bemerken, daſs ein Theil des Lichtes von der Oberfläche zurückgeworfen wird. — Dieselbe Erscheinung ist eben so auch an einer dicken polirten Glasplatte wahrzunehmen.

Man unterscheidet daher auch mehre Grade der Durchsichtigkeit vom Durchschimmern, Durchscheinen, Durchleuchten u. s. w. bis zur klarsten Durchsichtigkeit. Körper, die einen mittlen Grad von Durchsichtigkeit besitzen, nennt man gewöhnlich durchscheinende Körper. Sie lassen so wenig Licht durch ihre Materie, daſs andere Körper durch sie hindurch nur undeutlich gesehen werden, wie z. B. nebelige Luft, trübe Flüssigkeiten, mit Oel getränktes Papier, dünne Hornplatten und dergleichen.

Am durchsichtigsten sind die reine Luft, einige andere Gase, so wie Dämpfe im vollkommen ausdehnsamen Zustande; aufserdem sind aber auch die meisten tropfbaren und viele feste Körper mehr oder weniger durchsichtig. Es ist diese Eigenschaft aber nicht allein von der absoluten Durchsichtigkeit der Materie, sondern zugleich von der Dicke des Mittels, durch welches das Licht seinen Weg nimmt, abhängig. Je dicker ein Körper ist, desto mehr verliert er an Durchsichtigkeit. — Eine recht dünne Tafel weifsen Glases wird vollkommen durchsichtig erscheinen; legt man aber mehre solche Glastafeln über einander, so wird man bemerken, daſs sich die Durchsichtigkeit mit der Vermehrung der Tafeln vermindert. Eben deshalb erscheinen uns auch entfernte Gegenstände, deren Licht erst durch eine beträchtlichere Luftschicht zu unserem Auge gelangt, weniger deutlich als nahe Gegenstände. — Eine bestimmte Abhängigkeit der Durchsichtigkeit von der materiellen Beschaffenheit der Körper hat man indeſs noch nicht aufgefunden, jedoch zeigt sich von wesentlichem Einflusse die Regelmäſsigkeit des inneren Gefüges (§. 93) und die Glätte der Oberfläche, weſshalb auch vorzüglich farblose krystallisirte Körper durchsichtig sind. — Einen auffallenden Beweis zu Letzterem liefert der Diamant und die

Kohle, so wie auch viele Körper durchsichtiger werden, wenn man ihre Poren mit Wasser oder Oel anfüllt.

Zweiter Versuch. Gestofsenes Glas ist undurchsichtig; gießt man aber Terpentin- oder anderes Oel darauf, so wird es durchscheinend oder durchsichtig. — Der Hydrophan.

Dritter Versuch. Zwei mattgeschliffene Glasplatten werden durchsichtig, wenn man zwischen die auf einander liegenden matten Flächen etwas Terpentinöl bringt.

Undurchsichtig werden alle die Körper genannt, welche die Verbreitung des Lichtes hindern, durch welche hindurch man also andere Körper nicht sehen kann.

Wahrscheinlich ist aber auch kein Körper vollkommen undurchsichtig, wenigstens in ganz dünnen Schichten, wie dieß manche Metalle, welche doch zu den undurchsichtigsten Körpern gehören, z. B. das Gold, beweisen.

Vierter Versuch. Durch eine auf einer Seite mit Blattgold belegte Glastafel sieht man alle Gegenstände und zwar in einem grünlichen Lichte.

Nach der Emanationshypothese sind durchsichtige Körper solche, welche die freie Bewegung des Lichtstoffes durch ihre Materie hindurch mehr oder weniger vollkommen gestatten. Körper, bei denen ein Durchdringen des Lichtstoffes nicht stattfindet, sind undurchsichtig. Nach der Undulationshypothese besitzen die durchsichtigen Körper die Eigenschaft, dafs sie die Lichtschwingungen des Aethers auf ähnliche Weise fortpflanzen, wie sich die Schwingungen der Luft festen Körpern mittheilen, indem nämlich die zwischen ihren Atomen befindlichen Aethertheilchen ebenfalls in schwingende Bewegungen versetzt werden. Von der Stärke, mit welcher sich dann diese schwingende Bewegung auf der entgegengesetzten Seite des Körpers wieder fortpflanzt, ist auch die Durchsichtigkeit des Körpers abhängig. Völlig undurchsichtige Körper werden also die Lichtschwingungen des Aethers ganz aufheben.

II. Von der Verbreitung des Lichtes, Optik.

§. 282.

In einem gleichförmig durchsichtigen Mittel pflanzt sich das Licht von jedem leuchtenden Puncte **geradlinig** fort, und jede von einem Lichtpuncte ausgehende

gerade Linie nennt man einen **Lichtstrahl**. Als Beweis hierzu dienen folgende Versuche:

Erster Versuch. Bringt man in die gerade Linie zwischen dem Auge und der Flamme eines Lichtes einen undurchsichtigen Gegenstand, so sieht man die Flamme nicht mehr.

Zweiter Versuch. In ein verfinstertes Zimmer lasse man durch eine oder einige enge Oeffnungen Sonnenstrahlen fallen. Sie werden als durchaus gerade Linien oder Lichtstrahlen erscheinen.

Da nun ein jeder leuchtende Punct von allen Seiten gesehen wird, so mufs man annehmen, **dafs sich das Licht nach allen Richtungen in auseinanderfahrenden Strahlen verbreite**, oder dafs die Lichtverbreitung in einer **Radiation** bestehe.

Nach der Emanationshypothese wird der Lichtstoff von jedem leuchtenden Puncte excentrisch, d. h. wie die Radien einer Kugel fortgestofsen, und das Wort Lichtstrahl bezeichnet dann die Richtung des Weges, den ein Lichtatom oder eine Reihe auf einander folgender Lichttheilchen nimmt.

Nach der Undulationshypothese aber erfolgt die Verbreitung des Lichtes von einem jeden leuchtenden Puncte, den Gesetzen wellenförmiger Bewegung gemäfs, nach allen Richtungen (§. 231). Jede Linie, welche man sich auf die Oberfläche einer Lichtwelle senkrecht gezogen denkt, ist ein Lichtstrahl. Diese Linie verlängert trifft in den leuchtenden Punct und gibt darum die Richtung an, in welcher die Fortpflanzung der Lichtwellen erfolgt.

Um sich aber von dieser in wenig Worten zusammengefafsten Hypothese der Lichtverbreitung, so wie von den eigenthümlichen Zuständen, in welchen sich jedes Aethertheilchen befindet, eine deutlichere Vorstellung zu verschaffen, mögen folgende weitere Auseinandersetzungen dienen.

Supponiren wir vor der Hand, dafs die Verbreitung des Lichtes vom leuchtenden Körper nur nach der Richtung *A B* Fig. 210 erfolge, so nimmt jedes in dieser Bahn liegende Aethertheilchen eine vibrirende Bewegung an, und zwar dergestalt, dafs es rechtwinkelig zu dieser Richtung nach allen Seiten hin ausweicht, ungefähr so, wie diefs Fig. 211, als perspectivische Zeichnung gedacht, für den Theil *a b* des Lichtstrahles darstellen würde. Eine auf solche Weise erregte Bewegung des Aethers mufs demnach eine fortschreitende Wellenbewegung erzeugen (§. 217), wovon die Curve, Fig. 210. die gegenseitige Lage der schwingenden Aetheratome in einem bestimmten Augen-

blicke der Bewegung darstellte. In der Linie AB würde nämlich das Aethertheilchen a beständig zwischen dem Kreise a^1 a^2 schwingen. An der Peripherie desselben, z. B. in a^1, angelangt, hätte dasselbe die Geschwindigkeit Null; nähert es sich aber bei seiner rückgängigen Bewegung der ursprünglichen Lage, so wächst seine Geschwindigkeit und erreicht in a das Maximum derselben, bewegt sich dann, in Folge des Beharrungsvermögens, mit abnehmender Geschwindigkeit bis a^2, wo es wieder, seine ganze Geschwindigkeit verlierend, seine rückgängige Bewegung auf ganz ähnliche Weise antritt. Diese Vibration des ersten Aetheratoms theilt sich aber nicht momentan, sondern nur nach und nach den übrigen in der Richtung des Lichtstrahles ihm folgenden Atomen mit. Wären daher alle in der Linie AB befindlichen Aetheratome im Zustande der Ruhe, und das Atom a begönne seine Schwingungen, so würden nur progressiv alle von A nach B hin liegende eine ähnliche Bewegung annehmen. Während nämlich das Atom a eine vollständige Oscillation vollendet, d. h. von a^1 bis a^2 und wieder zurück nach a^1 schwingt, möge sich diese Anregung der Bewegung z. B. bis zu dem Aethertheilchen b fortgepflanzt haben. Dann beginnt dieses seine erste Schwingung in dem Augenblicke, wo a die zweite anfängt, und von nun an befinden sich die Atome a und b in gleichen Schwingungszuständen, d. h. sie weichen beide gleichzeitig nach derselben Seite hin aus, kehren zugleich in ihre ursprüngliche Lage a und b zurück und erreichen eben so zu derselben Zeit ihre gröfsten Entfernungen von AB. Unter denselben Voraussetzungen ist ferner anzunehmen, dafs das Aethertheilchen c seine erste Oscillation antritt, wenn b die zweite und a die dritte anfängt, und dafs von nun an auch c mit a und b immerwährend in einem gleichen Schwingungszustande befindlich sei. Diese Induction kann eben so noch auf alle nach B hin liegende Aethertheilchen angewendet werden.

Wenn nun auf Weise alle in der Linie AB befindliche Aetheratome in oscillatorischer Bewegung begriffen sind, so bilden die gleichen Entfernungen a^1 b^1, oder auch m n, n o, das, was man eine ganze Wellenlänge nennt. Alle die Aethertheilchen aber, welche sich gerade in der Mitte zwischen den erstgenannten befinden, wie f, g, h, die also genau um eine halbe Wellenlänge von den vorigen abstehen, sind in entgegengesetzten Schwingungszuständen befindlich, so dafs, wenn z. B. a, b, c u. s. w., oberhalb AB ihre gröfste Entfernung a^1, b^1, c^1 erreichen, f, g, h sich gerade unter AB in f^1, g^1, h^1 befinden, alle Theilchen aber gleichzeitig ihre ursprüngliche

Lage der Ruhe *a*, *b*, c und *f*, *g*, *h*, nur in entgegengesetzter Richtung sich bewegend, passiren.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich mithin, dafs alle Aethertheilchen in der Richtung eines Lichtstrahles, welche um 1, 2, 3, 4 . . . . *n* ganze Wellenlängen von einander entfernt sind, stets mit gleichen Geschwindigkeiten nach derselben Richtung schwingen, dafs aber alle die, welche um $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ . . . $n+\frac{1}{2}$ Wellenlängen von einander abstehen, zwar auch von gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten afficirt werden.

Nehmen wir nun aber an, dafs die Lichtverbreitung vom leuchtenden Puncte in einer Ebene nach allen Richtungen gleichzeitig und gleichmäfsig erfolge, so erhalten wir ein Kreiswellensystem ähnlich dem bei tropfbaren Flüssigkeiten (§. 221), wovon uns die Fig. 212 eine richtige Vorstellung verschaffen wird. Auf allen von dem leuchtenden Puncte *A* ausgehenden geraden Linien, d. h. in allen Lichtstrahlen, werden sich die Aethertheilchen, bei gleichen Entfernungen von diesem, in gleichen, der Curve in Fig. 210 entsprechenden Schwingungszuständen befinden, woraus sich ergibt, dafs dasselbe auch bei allen Aetheratomen stattfinden mufs, die in den in der Fig. 212 verzeichneten Kreiswellen, $a\,a\,a$ . . . . $a^1\,a^1\,a^1$ . . . $a^2\,a^2\,a^2$ . . . . $a^3\,a^3\,a^3$ . . . $b\,b\,b$ . . . $b^1\,b^1\,b^1\,b^1$ . . . $b^2\,b^2\,b^2$ . . . etc. liegen.

Da nun aber, wie bereits oben gesagt, die Lichtverbreitung nach allen Richtungen stattfindet, so müssen wir uns, um eine vollständige Vorstellung von der radialen Lichtfortpflanzung zu erhalten, die Kreiswellen der Figur 212 um einen ihrer Durchmesser herum bewegt denken, wodurch dann aus ihnen Kugelwellen oder Kugelschalen entstehen, in denen ebenfalls alle Aethertheilchen in gleicher vibrirender Bewegung begriffen sind

§. 283.

Auf der gradlinigen Verbreitung des Lichtes beruht auch die Wirkung der von *Porta* (in der Mitte des 16ten Jahrhunderts) erfundenen dunklen oder optischen Kammer. Fallen nämlich die Lichtstrahlen eines beleuchteten Gegenstandes durch eine kleine Oeffnung in einen dunklen Raum, und fängt man diese mit einer weifsen Wand auf, so bildet auf ihr jeder Punct des Gegenstandes mit der ihm eigenen Farbe eine farbige Figur von der Gestalt der Oeffnung ab. Diese einzelnen Figuren, zum Theil sich denkend, folgen stetig auf einander und erzeu-

gen vereint das Bild des Gegenstandes, aber in umgekehrter Stellung.

Dafs diese Erscheinung auf die angeführte Weise erfolgen mufs, wird sich aus nachfolgender Beschreibung ergeben. Wäre z. B. *AB* Fig. 136 der leuchtende Gegenstand, *c* die Oeffnung, durch welche seine Lichtstrahlen in den dunklen Raum auf eine verticale Wand fallen, so geht der Lichtstrahl *Ac* von der Spitze des Pfeiles abwärts und erzeugt in *a* nach unten das Bild derselben. Von dem unteren Ende *B* des Pfeiles aber geht der Lichtstrahl *Bc* durch *c* aufwärts und erzeugt in *b* nach oben das Bild desselben. Eben so verhält es sich auch mit allen zwischen *A* und *B* liegenden Puncten, so dafs alle von ihnen durch *c* gehende Lichtstrahlen zwischen *a* und *b* die Wand treffen und vereint dadurch das Bild *a b* erzeugen, welches nothwendig die umgekehrte Lage von *A B* haben mufs.

Versuch. Am befsten zeigt sich diese Erscheinung, wenn sich in dem Fensterladen eines ganz verfinsterten Zimmers eine kleine Oeffnung befindet, durch welche das Licht der aufserhalb desselben befindlichen Gegenstände fällt. Es bilden sich diese dann an der der Oeffnung gegenüberstehenden Wand, oder noch besser auf einer in einiger Entfernung von der Wand gehaltenen weifsen Fläche mit ihren natürlichen Farben verkehrt ab. Ein solches Bild erscheint in seinen Umrissen desto bestimmter, je kleiner die Oeffnung, aber dann auch desto lichtschwächer; mit Vergröfserung der Oeffnung nimmt die Helligkeit des Bildes zu, aber die Schärfe der Contoure vermindert sich in demselben Mafse, und endlich vergröfsert sich das Bild in allen seinen Theilen genau in dem Verhältnifs seiner Entfernung von der Lichtöffnung. Alle diese Modificationen erklären sich leicht aus der im vorstehenden §. gegebenen Beschreibung der Entstehung dieser Bilder.

§. 284.

Wird ein undurchsichtiger Körper von einer Seite erleuchtet, so bleibt die entgegengesetzte dunkel oder unbeleuchtet, und diese nennt man die Schattenseite, den Körperschatten oder Eigenschatten. Hinter dem beleuchteten Körper mufs sich daher ein Raum befinden, wohin das Licht des leuchtenden Körpers nicht gelangen kann; es ist dieſs der Schattenraum des undurchsichtigen Körpers. Tritt ein Körper in diesen Sch

so bleibt der Theil, welcher diesen Raum durchschneidet, unbeleuchtet. Dieser auf die Körperfläche fallende oder projectirte Schatten des undurchsichtigen Körpers heifst der Schlagschatten.

Geht das Licht von einem einzigen Puncte aus, so erhält man die Schattenbegränzung, wenn man von jenem nach allen Puncten des äufseren Körperumfanges gerade Linien zieht und sie über diesen hinaus verlängert. Der hinter dem undurchsichtigen Körper zwischen diesen Linien, welche die an dem Körper vorbeistreifenden divergirenden Lichtstrahlen bezeichnen, eingeschlossene Raum ist der Schattenraum.

Dieser Schattenraum hat, je nachdem der äufsere Umrifs des Körpers kreisförmig oder eine gradlinige Figur ist, die Gestalt eines abgestumpften Kegels, Fig. 137, oder einer abgestutzten Pyramide, Fig 138.

Besteht aber der leuchtende Körper, wie in der Wirklichkeit immer, aus mehren leuchtenden Puncten, so ist der hinter jedem undurchsichtigen Körper entstehende Schattenraum aus zweierlei Schatten zusammengesetzt, nämlich aus dem Kernschatten, wo gar keine Lichtstrahlen hingelangen können und der ganz dunkel ist, und aus den Halbschatten, welche jenen begrenzen, zum Theil von Lichtstrahlen erhellt werden und durch allmählige Abstufungen in die volle Beleuchtung übergehen. — Ist z. B. *lm* Fig. 139 der leuchtende Körper oder die Linie, von welcher das Licht ausstrahlt, *ab* der undurchsichtige Körper, der von diesem Lichte beleuchtet wird, so befindet sich der Kernschatten zwischen den Linien *lac* und *mbc*, zu beiden Seiten desselben aber liegen die Halbschatten zwischen den Linien *ac* und *ad*, so wie *bc* und *bf*.

Schlagschatten-Constructionen bei geometrischen Zeichnungen. — Warum die Sonnenstrahlen als parallel anzunehmen sind. — Mehrfache Schatten von mehren Lichtquellen. — Jeder

Schatten ist um so schwächer, je stärker der ihn begränzende Raum erleuchtet ist; daher wird der schwärzeste Schatten auch stets durch das hellste Licht begrenzt. — Tag und Nacht auf der Erde. — Sonnen- und Mondfinsternisse. — Schattenspiele und coptographische oder Kern- und Halbschatten-Bilder.

§. 285.

Die Gesammtwirkung des Lichtes, welches von irgend einem leuchtenden Puncte ausgeht, d. h. die Stärke der Erleuchtung oder Helligkeit, welche er erzeugt, ist abhängig

1.) von der Entfernung, in welcher sich der leuchtende Körper befindet,

2.) von der absoluten Lichtintensität oder Leuchtkraft jedes leuchtenden Punctes,

3.) von der Schwächung oder Absorption, welche das Licht auf seinem Wege durch die Medien erleidet, und endlich

4.) von dem Winkel, unter welchem die Lichtstrahlen eine zu erleuchtende Fläche treffen.

§. 286.

In Folge der excentrischen Lichtverbreitung (§. 281) muſs nothwendig die Stärke der Erleuchtung mit der Entfernung des leuchtenden Körpers abnehmen, und zwar ganz nach demselben Gesetze, wie alle von einem Centralpuncte ausgehende Wirkungen (z. B. wie die der Schwerkraft §. 34 und des Schalles §. 267); nämlich es nimmt die Helligkeit ab, wie die Quadrate der Entfernungen vom leuchtenden Körper.

Der allgemeine Ausdruck vorstehenden Gesetzes ist: $H = \frac{1}{E^2}$, wobei H die Stärke der Erleuchtung und E die Entfernung des leuchtenden Körpers ausdrückt.

Die Helligkeit, welche ein Licht in der Entfernu einem Fufse gibt, kann nach obigem Gesetze in der Ent von zwei Fufs erst durch vier, in der Entfernung v Fufs erst durch neun eben solche Lichter hervorgebrac den. — Ist die Entfernung der Planeten von der Sonne g und die Erdbeleuchtung als Einheit angenommen, so läfst si falls leicht nach jenem Gesetze die Stärke der Sonnenb ung auf die anderen Planeten berechnen. In nachstehe bellarischen Uebersicht sind diese Verhältnisse zusammen

Planeten.	Merkur.	Venus.	Erde.	Mars.	Planetoiden	Jupiter.	Saturn.
Entfernungen.	0,4	0,7	1	1,5	2,5	5	10
Beleuchtung.	6,25	2	1	0,44	0,16	0,04	0,0

§. 287.

Nach diesem Gesetze läfst sich auch die Stärke leuchtung verschiedener Lichtquellen vergleichen od relative Leuchtkraft messen. Werkzeuge, mittels v man eine solche Messung anstellt, heifsen Photom Die bekanntesten und in ihrem Gebrauche die einf sind die von *Rumford* und *Ritchie*. Für erstere di Schwärze der Schlagschatten, für letztere aber die der Erleuchtung, welche die zu vergleichenden Lich len erzeugen, als Mafsstab. Bei gleicher Schwär Schatten und eben so bei Erzeugung einer gleiche ligkeit verhält sich dann die Leuchtkraft der beiden quellen, wie die Quadrate der Entfernungen, in w sie diefs bewirken.

Ein einfacher photometrischer Apparat nach *Rum* Princip besteht aus einem verticalen weifsen Schirme, v chem man in geringer Entfernung einen undurchsichtige aufstellt. Die hinsichtlich ihrer Leuchtkraft zu vergleic Lichtquellen, z B. zwei verschiedene Lichter, werden n dem Stabe so aufgestellt, dafs die beiden von ihnen ge nen Schlagschatten sich einander berühren oder fast be

Das Auge wird dann leicht zu unterscheiden vermögen, ob beide Schatten eine gleiche Schwärze haben. Ist diefs nicht der Fall, so mufs das Licht, von welchem der dunklere Schatten herrührt, so lange von dem Schirme weiter entfernt werden, bis die Schwärze beider Schatten gleich erscheint. Da jetzt die Helligkeit des Schirmes das Product beider Lichtquellen ist und jeder Schatten von einem der Lichter erleuchtet wird, so mufs auch die Stärke der Erleuchtung gleich sein, wenn beide Schatten gleich dunkel sind. Mifst man nun die Entfernung beider Lichter vom Schirme, so verhält sich ihre Leuchtkraft direct wie das Quadrat dieser Entfernungen.

Ritchie's Photometer besteht aus einem rechtwinkeligen Kasten von ungefähr 1½ bis 2 Zoll in's Gevierte und etwa 8 Zoll Länge, der an beiden Seiten offen und im Inneren geschwärzt ist. In der Mitte seiner Länge befinden sich zwei ganz gleiche weifse Papierflächen, welche unter sich im rechten Winkel zusammenstofsen, gegen die Oeffnung aber 45° Neigung haben. In der oberen Fläche des Kastens, da, wo die beiden Papierflächen zusammenstofsen, befindet sich eine kreisrunde Oeffnung, so dafs die Papierkanten gerade den Durchmesser derselben bilden. In dieser ist eine inwendig ebenfalls geschwärzte Röhre eingesetzt. Um nun zwei Lichter hinsichtlich ihrer Leuchtkraft zu vergleichen, stellt man das Instrument so zwischen beide, dafs jedes eine der Papierflächen durch die Seitenöffnung hindurch erleuchtet, und nähert das Instrument so lange dem einen oder dem anderen, bis beide Papierflächen einem durch das Rohr sie betrachtenden Auge gleich stark erleuchtet erscheinen. Die Lichtstärken verhalten sich dann auch hier direct wie die Quadrate der Entfernungen der Lichter von der Mitte des Instrumentes. Die Figur 140 wird einen solchen Apparat versinnlichen.

Diese Photometer können auch zur Bestätigung des im vorigen §. aufgestellten Hauptgesetzes dienen. Nimmt man fünf gleichstarke Wachslichter und stellt das eine davon in die Entfernung 1, die vier anderen zusammen aber in der doppelten Entfernung vom Photometer auf, so wird man finden, dafs diese vier Lichter, dem Gesetze entsprechend, dann gerade nur eine eben so starke Erleuchtung erzeugen als das einzelne Bei einem und zwei Lichtern würden sich ihre Entfernungen wie 5 : 7 verhalten müssen, wenn sie eine gleich starke Erleuchtung hervorbringen sollten; denn in diesem Falle wäre auch das Verhältnifs der Quadrate der Entfernungen 5 . 25 = 5, und 7 . 7 = 49, fast genau wie 1 : 2. — Der Artillerist kann den Photometer gebrauchen, um die Intensität seiner Leuchtsätze zu vergleichen. — Einfluss der Farbe des Lichtes bei allen photo-

metrischen Versuchen. — Um die Photometrie haben sich aufser den schon genannten Physikern auch noch mehre andere, wie z. B. *Lambert*, *Bouguer*, *Wollaston*, *Herschel*, *Lampadius* und *Leslie*, verdient gemacht (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VII. 1. Abth. 480).

§. 288.

Bei derselben Entfernung zweier Lichtquellen hängt ferner die Stärke der Erleuchtung ab von der absoluten Lichtintensität (1) jedes leuchtenden Punctes und von der Menge dieser leuchtenden Puncte oder von der Gröfse der leuchtenden Fläche. Sie ist beiden proportional und ihre Gesammtwirkung dem Producte beider Gröfsen gleich (2).

1.) Die absolute Lichtintensität oder Leuchtkraft jedes physischen Punctes an der Oberfläche eines leuchtenden Körpers nennt man auch den wirklichen Glanz desselben, während der scheinbare oder relative Glanz der durch die Entfernung geschwächte Lichteindruck im Auge ist.

2.) Der allgemeine Ausdruck hierfür würde demnach sein

$$H = \frac{IF}{E^2},$$

wo H wieder die Stärke der Erleuchtung, I die Leuchtkraft oder den wirklichen Glanz, F die leuchtende Fläche und E die Entfernung des leuchtenden Körpers ausdrückte.

Die Richtigkeit dieser Angaben kann gleichfalls durch photometrische Versuche geprüft werden. — Um die verschiedene absolute Lichtintensität zweier leuchtender Körper, z. B. zweier Lichter, zu untersuchen, verfährt man folgendermafsen. Vor die beiden Oeffnungen eines *Ritchie*'schen Photometers stellt man in gleichen Entfernungen die zwei hinsichtlich ihres wirklichen Glanzes zu vergleichenden Lichter auf. Dann bringe man dicht vor jedem Lichte einen undurchsichtigen Schirm an, in welchem sich genau vor der Mitte der Lichtflamme eine kleine runde Oeffnung befindet, so dafs durch diese Oeffnung eine gleich grofse Fläche des leuchtenden Körpers ihre Lichtstrahlen dem Photometer zusenden kann. Haben beide Lichter eine gleiche Leuchtkraft, so werden sich auch die beiden Photometerflächen gleich stark erleuchtet zeigen; ist diefs aber nicht der Fall, so wird das Licht, welches die Photometerfläche stärker erhellt, mit seinem Schirme noch so weit von der Oeffnung des Photometers entfernt, bis beide Flächen gleich hell erscheinen. Der wirkliche Glanz beider Lichter verhält sich dann wie das

Quadrat ihrer Entfernungen von den Photometerflächen. — Ganz auf ähnliche Weise verfährt man, um zu beweisen, daſs bei gleicher Leuchtkraft die Stärke der Erleuchtung der Gröſse der leuchtenden Fläche proportional ist. Hierzu sind zwei Lichter von gleicher Leuchtkraft und nicht zu kleiner Flamme, so wie auch zwei Schirme mit gleich groſsen Oeffnungen erforderlich, wovon sich aber die eine vergröſsern läſst, so daſs ihr Durchmesser dann doppelt und daher ihre Fläche viermal so groſs als die der Oeffnung im anderen Schirme wird. Dann zeigt es sich, daſs bei Anwendung der gleichen Oeffnungen und bei gleicher Entfernung der Lichter von den Photometerflächen auch ihre Helligkeit gleich ist, daſs aber, sobald man die Oeffnung in dem einen Schirme vergröſsert, die dieser Oeffnung gegenüberstehende Fläche stärker erhellt wird. Jetzt muſs man das Licht mit der gröſseren Oeffnung im Schirme wieder so lange entfernen, bis beide Photometerflächen gleich stark erhellt erscheinen, wo sich dann ergeben wird, daſs die Entfernung die doppelte der ersten ist, daſs mithin bei einer viermal gröſseren Lichtfläche die Helligkeit auch viermal stärker ist.

Nach der Emanationshypothese ist die Stärke der Erleuchtung, welche aus den oben angeführten zwei Ursachen hervorgeht, abhängig von der Stärke, mit welcher der Lichtstoff von dem leuchtenden Körper fortgestoſsen wird, und von der Menge, die dadurch in Bewegung geräth, nach der Undulationshypothese aber, wie bei'm Schalle, von der Gröſse der Oscillationen, welche dem Lichtäther von der Oberfläche des leuchtenden Körpers ertheilt werden, so wie von der Masse des in leuchtende Wellenbewegung versetzten Aethers. Je gröſser daher unter übrigens gleichen Umständen die Ausweichung aa^1, ff^1, bb^1 etc. Fig. 210 der Aetheratome auf ihrer Bahn ist, desto intensiver wird auch der durch sie hervorgebrachte Lichteindruck ausfallen, weshalb eine solche Curve wie $a^1 f^1 b^1 g^1 \ldots$. Fig. 210 zugleich als graphische Darstellung der Intensität des Lichtes dienen kann.

Auf der Erdoberfläche erzeugt das Sonnenlicht die stärkste Erleuchtung. Der Grund hiervon liegt in dem immensen Glanze des Sonnenlichtes und in der gewaltigen Gröſse der Sonnenfläche. Welchen Einfluſs die letztere auf die Helligkeit ausübt, gewahrt man bei Sonnenfinsternissen, wo die Helligkeit stets geringer ist, eben so in verfinsterten Zimmern, wo das Sonnenlichte nur durch enge Oeffnungen einfallen kann. Dem Sonnenlicht steht in der Leuchtkraft am nächsten das Licht der glühenden Kohlenspitzen im Volta'schen Strome und das der Kreide in der Flamme des Knallgasgebläses (*Drummond*'sches Licht). Die geringste Leuchtkraft zeigt das Licht des brennenden Was-

serstoffgases, das der Spiritusflamme und das der phosphorescirenden Körper. Von der äuſserst geringen Leuchtkraft letzterer Körper gegen die des Sonnenlichtes kann man sich leicht durch folgenden Versuch überzeugen.

Versuch. Man bringe eine Wasserstoffflamme, oder eine Spiritusflamme, oder einen phosphorescirenden Körper in den Sonnenschein, und man wird finden, daſs das Licht dieser Körper völlig verschwindet.

Da die Fixsterne ähnlich leuchtende Körper wie unsere Sonne sind, so ist auch anzunehmen, daſs die Intensität ihres Lichtes dem unserer Sonne gleich oder nahe gleich kommt. Der hellste unter ihnen ist der Sirius. Dessenungeachtet sehen wir ihn eben so wenig wie die anderen Sterne am Tage oder bei Sonnenschein. Die Ursache hiervon ist die ungleich gröſsere Entfernung dieser Himmelskörper von unserer Erde. Aus photometrischen Versuchen will *Wollaston* gefunden haben, daſs erst 20000 Millionen solcher Sterne wie Sirius die Sonne ersetzen würden, oder daſs die Sonne 140000 Mal weiter von uns entfernt sein müsse, um eben so lichtschwach wie Sirius zu erscheinen. Auf ähnliche Weise bestimmte er, daſs das Licht der Sonne dem von 5563 Wachskerzen gleich zu schätzen sei, wenn sich diese in der Entfernung eines Fuſses vom Gegenstande befänden, während das Licht des Vollmondes nicht mehr als eine Wachskerze in 12 Fuſs Entfernung wirkte, so daſs dieses also nur dem $12^2 = 144$sten Theile der Leuchtkraft einer Kerze, die sich in 1 Fuſs Entfernung befindet, gleich ist, woraus sich dann ergäbe, daſs das Mondlicht $5563 \cdot 144 = 801072$ Mal schwächer als das Sonnenlicht wäre (Pogg. Annl. XVI. 329).

§. 289.

Da wir bis jetzt auf der Erde keinen vollkommen durchsichtigen Körper kennen (§. 280), so wird das Licht bei seiner Verbreitung in allen durchsichtigen Mitteln geschwächt, und zwar um so mehr, je weniger durchsichtig sie sind und je weiter es seinen Weg in einem solchen Mittel fortsetzt. In welchem Verhältniſs und welchem Grade hierbei die Lichtabnahme stattfindet, ist bis jetzt nur unvollständig ermittelt worden, jedoch hat sich ergeben, daſs selbst die durchsichtigsten Körper bei einer hinlänglichen Dicke undurchsichtig werden.

So verliert nach *Bouguer* das reinste Seewasser bei einer Dicke von 679 Pariser Fuſs alle Durchsichtigkeit, und die reinste Luft, wenn sie etwa 162 Meilen so dicht als an der Erde wäre, würde selbst für das Sonnenlicht undurchdringlich sein. Hieraus erklärt sich auch der geringe Glanz der Sonne und des Mondes bei'm Auf- und Untergange, weil ihr Licht, je näher sie am Horizonte stehen, einen desto längeren Weg durch dichtere Luftschichten zurücklegen muſs. Ob das Licht aber in einem absolut leeren Raume oder in dem nur mit dem hypothetischen Aether erfüllten Weltraume auch eine solche Schwächung erfährt, läſst sich nicht entscheiden; doch macht der Glanz der Fixsterne, deren Licht aus so unermeſslichen Entfernungen zu uns gelangt, dieſs unwahrscheinlich.

§. 290.

Endlich ist noch zu erläutern, welche Modification die Stärke der Erleuchtung eines Körpers, je nach dem Winkel, unter welchem die Lichtstrahlen denselben treffen, erleidet. Am stärksten wird nämlich eine Fläche erleuchtet, wenn die Lichtstrahlen unter einem rechten Winkel auffallen, und sie nimmt in dem Maſse ab, je spitziger oder stumpfer der Einfallswinkel wird. Man kann sich hiervon sehr leicht überzeugen, wenn man eine weiſse Fläche senkrecht oder schief gegen die Sonnenstrahlen hält.

Stellen die feinen Parallellinien Fig. 141 Lichtstrahlen vor, welche z. B. von der Sonne ausgehen, so zeigt es sich, daſs die Fläche ab in der Lage, wo die Lichtstrahlen senkrecht auf sie fallen, von den meisten, in jeder anderen Lage aber, wie z. B. in der ac, von wenigeren Lichtstrahlen getroffen wird. Sie erhält nämlich nur dann das Licht, welches auch eine mit den Strahlen einen rechten Winkel bildende Ebene erhalten würde, deren Durchschnitt cd wäre. Diese Linie ist aber der sin. α des Einfallswinkels und der cos. β des Neigungswinkels der Ebene gegen die senkrechte Lage zu den Lichtstrahlen; daher muſs sich auch in diesem Falle die Stärke der Erleuchtung wie der Sinus des Einfallswinkels der Lichtstrahlen oder der Cosinus des Neigungswinkels der Fläche gegen die senkrechte Lage der Lichtstrahlen verhalten. — Hierauf beruht das Tuschen schiefbeleuchteter Flächen und *Lehmann's* Situations-Scala.

Fassen wir Alles, was nach den vorigen §§. hinsichtlich der Stärke der Erleuchtung gesetzlich ermittelt worden ist, zusammen, so erhalten wir für die Stärke der Erleuchtung einer Fläche folgenden allgemeinen Ausdruck:

$$H = \frac{IF \sin. \alpha}{E^2} \text{ oder } \frac{IF \cos. \beta}{E^2},$$

wo H wieder die Helligkeit, I die absolute Leuchtkraft, F die Gröfse der leuchtenden Fläche, E die Entfernung des leuchtenden Körpers, α den Einfallswinkel der Lichtstrahlen und β den Neigungswinkel der Fläche gegen diese ausdrückt.

Den Einfluſs, den hierbei die Beschaffenheit der Oberfläche und der Körpermaterie ausübt, wird man später noch besonders erwähnt finden.

§. 291.

Die Lichtverbreitung erfolgt mit einer aufserordentlich grofsen, aber dennoch meſsbaren Geschwindigkeit; sie ist so grofs, daſs alle irdischen Geschwindigkeiten dagegen kaum vergleichbar sind (s. die sechste Tabelle des Anhanges). Früher hielt man sie deshalb für unendlich grofs, um das Jahr 1676 aber berechnete sie der dänische Astronom *Olof Römer* aus Beobachtungen der Verfinsterung des ersten Jupiterstrabanten zu ungefähr 42000 geographischen Meilen in der Secunde (1).

Nach *Herschel* bewegt sich das Licht durch den leeren Raum mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit von 41560 geographischen Meilen in der Secunde. — Diese Geschwindigkeit ist für Lichtwellen von allen Weltkörpern die nämliche, wie die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in der Luft auch für alle Töne, sie mögen hoch oder tief, stark oder schwach sein, dieselbe bleibt (§. 262).

1.) *Olof Römer* fand nämlich, daſs, wenn die Erde in ihrer Bahn sich von dem Jupiter in gerader oder ziemlich gerader Richtung entfernt, wie dieſs der Fall ist, wenn sie sich Fig. 142 in E befindet, der Austritt des ersten Jupiterstrabanten T aus dem Schatten seines Planeten J bei der nächsten Verfinsterung um ungefähr 15 Secunden später gesehen wird, als dieſs nach der Umlaufszeit dieses Mondes erfolgen sollte. Nun tritt dieser Mond nach 42½ Stunde (genauer nach $42^h\ 28'\ 35''$) wieder aus dem Schatten des Jupiters; in dieser Zeit entfernt sich aber die Erde, von E nach E', gegen 630000 Meilen von dem-

selben; daher braucht auch das Licht, um diesen Raum zu durchlaufen, 15 Secunden Zeit und legt mithin in einer Secunde ungefähr 42000 Meilen zurück. Die entgegengesetzte Erscheinung tritt ein, wenn sich die Erde dem Jupiter nähert, wenn sie z. B. von E^2 nach E^3 fortschreitet.

Römer's Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichtes wurde durch die vom Engländer *Bradley* im Jahre 1725 beobachtete Aberration oder Abirrung des Lichtes vollkommen bestätigt. Es besteht dieselbe in einer eigenthümlichen Veränderung des scheinbaren Ortes aller Sterne, welche aus der Geschwindigkeit des Lichtes und der gleichzeitigen Geschwindigkeit der Erde bei dem Fortschreiten auf ihrer Bahn in tangentialer Richtung gegen das auf sie fallende Licht entspringt. Vermöge der aus der resultirenden Wirkung beider Geschwindigkeiten entspringenden sogenannten Aberration sehen wir alle Gestirne etwas weiter hin nach derjenigen Seite verrückt, nach welcher eben die Erde in ihrer jährlichen Bewegung um die Sonne läuft.

Diese im Weltraume vorgehende Erscheinung kann man sich am befsten nach *Littrow* (Littrow, die Wunder des Himmels S. 189) oder *Eisenlohr* auf folgende Weise veranschaulichen. Gesetzt, es wäre *MN* Fig. 143 ein Schiff, gegen dessen Seitenwände von *a* aus eine Kanone senkrecht gerichtet wäre. Befände sich das Schiff in Ruhe, so würde eine von *a* kommende Kugel bei *b* und *c* so durch die Schiffswände gehen, dafs sich die drei Puncte *a*, *b* und *c* in gerader Linie befänden. Wenn sich aber das Schiff selbst in Bewegung, z. B. von *M* nach *N* zu, befindet, so kann die Kugel, welche durch *b* gedrungen ist, die gegenüberliegende Schiffswand nun nicht in *c*, sondern sie mufs sie in einem Puncte *d* durchschlagen, der um so viel weiter nach dem Hintertheile des Schiffes liegt, als sich dieses in der Richtung von *M* nach *N* in der Zeit fortbewegt hat, während welcher die Kugel durch die Breite des Schiffes ging. Die Linien *bc* und *bd* müssen daher bei *b* einen gewissen Winkel bilden, dessen Gröfse von dem Verhältnisse der beiden Linien *bc* und *cd* abhängt, und der daher um so kleiner ausfallen mufs, je gröfser die Geschwindigkeit der Kanonenkugel gegen die des Schiffes ist. Denkt man sich nun, das Schiff sei die Erde, die Kanone irgend ein Fixstern, die Geschwindigkeit *bc* der Kanonenkugel die des Lichtes, und die Geschwindigkeit *dc* des Schiffes die der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne, so nennt man dann den Winkel *dbc* den Aberrationswinkel. Diesen Winkel hat man bei allen Sterngrofs und zwar ungefähr gleich 20 Secunden (genau cunden) gefunden, woraus folgt, dafs sich das Lic

Verbreitung im Weltraume von allen den verschiedenen Lichtquellen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt. Durch Hilfe der Trigonometrie läfst sich nun auch leicht die Geschwindigkeit des Lichts aus diesem Winkel und der bekannten Geschwindigkeit der Erde von 4½ Meilen (genauer von 4,113 Meilen) berechnen. Es ist dann nämlich: $bc = \frac{dc}{tg : cbd} = \frac{4{,}113}{tg : 20{,}25''}$, oder, bis auf eine unbeachtbare Differenz, auch hiernach die Geschwindigkeit des Lichtes, wie durch Römer's Beobachtungen gefunden, gleich 42000 geographischen Meilen. — Diese Uebereinstimmung der auf ganz verschiedenen Wegen gefundenen Resultate ist ein sprechender Beweis für die Vollkommenheit astronomischer Beobachtungen und zugleich eine Bestätigung der Bewegung der Erde um die Sonne. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 280 u. I., 15; u. Marbach Phys. Lex. I. 2 u. III. 350).

Das Licht braucht daher dieser ermittelten Geschwindigkeit gemäfs 8 Minuten 13 Secunden um von der Sonne bis zur Erde und 2¾ Stunden, um vom Uranus bis zu uns zu gelangen. Nach einer wahrscheinlichen Annahme, die man über die Entfernung des uns nächsten Fixsterns macht, würde das Licht mehr als 6 Jahre brauchen, um von diesem zu uns zu gelangen. Eine Folge hiervon ist, dafs wir die Himmelskörper nie an der Stelle sehen, wo sie sich wirklich befinden. Als Vergleichung der Gröfse der Geschwindigkeit des Lichtes mit anderen bedeutenden Geschwindigkeiten können folgende Beispiele dienen. Eine Kanonenkugel würde bei einer gleichförmigen Geschwindigkeit von 2300 Fufs in 1 Secunde ungefähr 6¼ Jahre und der Schall gegen 14 Jahre brauchen, um bis zur Sonne zu kommen. Den Umfang der Erde von 54000 Meilen zu umkreisen, würde jene Kanonenkugel ungefähr 16 Stunden Zeit nöthig haben, während das Licht dazu nur etwa ⅛ Secunde brauchte; die Geschwindigkeit des Lichts ist daher gegen ½ Million Mal gröfser als die einer Kanonenkugel, und über 1. Million Mal gröfser als die des Schalles. Mit der schnellsten Dampfwagenfahrt, wie sie bei der Eröffnung der Great-Western-Eisenbahn (1841) stattfand, wo der Ingenieur *Brunel* die deutsche Meile in 3½ Minuten zurücklegte, würde man über 137 Jahre nöthig haben, um von der Erde bis zur Sonne zu gelangen.

III. Von der Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes, Katoptrik.

§. 292.

Alle dunkle Körper besitzen die Eigenschaft, von dem auf sie fallenden Lichte mehr oder weniger zurückwerfen, wodurch sie dann, wie schon (§. 279) angeführt wurde, für uns erst sichtbar werden.

Je weniger ein Körper Licht zurückwirft, desto dunkler erscheint er uns; weiſse Körper strahlen daher das meiste, schwarze das wenigste Licht zurück. Absolut schwarze Körper dürften gar kein Licht zurückwerfen und könnten demnach gar nicht sichtbar sein; dergleichen giebt es aber nicht.

Versuch. Zu den schwärzesten Körpern, welche scheinbar gar kein Licht zurückwerfen, gehört der schwarze Sammet. Besieht man eine solche Fläche durch eine inwendig geschwärzte Röhre, vor deren einer Oeffnung sich ein Glas befindet, worauf man eine undurchsichtige Kreisscheibe dergestalt geklebt hat, daſs nur noch ein schmaler Ring, wie Fig. 144. darstellt, durchsichtig bleibt, so geht das von dem Sammet reflectirte Licht durch die ringförmige Oeffnung zum Auge. Wenn der Sammet absolut schwarz wäre oder gar kein Licht zurückwürfe, so müſste die ringförmige Oeffnung eben so schwarz wie die undurchsichtige Scheibe erscheinen; dieſs ist aber nicht der Fall, sondern die Sammetfläche erscheint grau.

§. 293.

Sind die Oberflächen der Körper rauh und uneben, so wird das auf sie fallende Licht nach allen Richtungen unter einander zurückgeworfen oder zerstreut, wodurch die vom Lichte getroffenen Flächen nach allen Richtungen sichtbar werden. Sind dagegen die Oberflächen der Körper glatt oder polirt, so erleiden auch alle auf sie fallende Lichtstrahlen eine regelmäſsige Zurückwerfung, und wir erblicken nun in jenen Flächen das Bild des Körpers, von dem die Lichtstrahlen auf sie fielen. Körper, die diese Eigenschaft in vollkommenem Grade besitzen, heiſsen Spiegel.

Man kann natürliche und [illegible] Spiegel unterscheiden. Zu ers[illegible] rauhender

Flüssigkeiten und die vieler Krystalle, von welchen die ersteren jedenfalls als die vollkommensten Spiegelflächen gelten können. Die künstlichen Spiegel sind entweder Metall- oder Glasspiegel. Von den Metallspiegeln sind die vorzüglichsten die von Platina oder auch die von einer Legirung aus Kupfer, Silber und Zinn. Als Glasspiegel dienen zu manchen. Zwecken wohl polirte, auf einer Seite geschwärzte Glasplatten, oder Platten aus schwarzem Glase, sogenanntem Obsidianglase, die auf einer Seite polirt werden. Unsere gewöhnlichen Glasspiegel, bei welchen eine Seite mit Zinnamalgam überzogen ist, welches die eigentlich spiegelnde Fläche abgiebt, haben den Nachtheil, dafs sie doppelt spiegeln, nämlich von den vorderen Glas- und von der hinteren Metallfläche. — Von der Nachtheilen dieser doppelten Spiegelung und den einfachen Mitteln, sie an dergleichen Spiegeln nachzuweisen.

Nach der Form der Oberfläche sind die künstlichen Spiegel entweder ebene, Planspiegel, oder gekrümmte, sphärische Spiegel, und leztere wieder entweder hohl (concav) oder erhaben (convex). Nach der Art der Krümmung unterscheidet man noch besonders Kugelspiegel, parabolische und elliptische Spiegel. Zu den Spiegeln mit gemischter Oberfläche gehören die Cylinder- und Kegel-Spiegel.

§. 294.

Bei der Spiegelung von geraden, sowohl wie von gekrümmten Flächen haben für die Zurückwerfung der Lichtstrahlen folgende Gesetze ihre Bestätigung gefunden.

Wenn nämlich in Fig. 145 die Linie *acb* den Durchschnitt einer ebenen, die Bogen *dce* und *fcg* aber die Durchschnitte zweier gekrümmter Spiegelflächen, welche beide die Linie *ab* im Einfallspunkte *c* des Lichtes berühren, vorstellen, und ferner zu diesen Spiegeln *kc* ein auffallender, *ch* ein zurückgeworfener Lichtstrahl, so wie der Perpendikel *lc* das sogenannte Einfallsloth ist, so lehrt die Erfahrung Folgendes:

1.) Das Einfallsloth, der einfallende und der zurückgeworfene Lichtstrahl liegen in einer und derselben, auf der zurückwerfenden Fläche senkrechten Ebene, der Zurückwerfungsebene.

2.) Der **Einfalls- oder Incidenz-Winkel** x und der **Zurückwerfungs- oder Reflexions-Winkel** y sind einander gleich und liegen auf entgegengesetzten Seiten des Einfallslothes. Hieraus folgt zugleich, daſs der einfallende und der zurückgeworfene Strahl auch mit der zurückwerfenden Ebene gleiche Winkel bilden, und daſs jeder senkrecht einfallende Strahl in sich selbst zurückgeworfen wird.

3.) Die Zurückwerfung von krummen Spiegelflächen erfolgt so, als wenn sie von einer spiegelnden Ebene stattfände, welche die krumme Oberfläche im Einfallspunkte tangirt.

Erster Versuch. Die Richtigkeit dieser Gesetze bestätigt ein einfacher Reflector.

$c\,a\,a'\,c'$ Fig. 146 ist eine halbkreisförmige, an ihrer Peripherie in Grade getheilte Scheibe: im Mittelpunkte b befindet sich ein schmaler verticaler Spiegel: $d\,b$ ist dann das Einfallsloth gegen den Punkt b. Befestigt man nun in a, etwa 40° von d entfernt, einen leuchtenden Punkt, z. B. eine Stecknadel, so wird der Lichtstrahl $a\,b$ nach a', ebenfalls 4[illegible] von d entfernt, parallel zur Kreisebene, reflectirt, und nur von dort wird ein Auge diesen Gegenstand im Spiegel sehen.

Zweiter Versuch. In ein [illegible] Zimmer lasse man durch eine kleine Oeffnung [illegible] fallen. Man wird dann die ganze Lage [illegible] zurückgeworfenen Lichtstrahls [illegible] der Luft schwebenden Staubtheilchen [illegible] obige Gesetze [illegible].

Nach der Emanationshypothese muſs die Zurückwerfung des Lichtes den Gesetzen des Stoßes [illegible] als eine [illegible] der [illegible] von [illegible] des Lichtstrahls [illegible] allgemeinen Gesetze [illegible] folgen, nach welchen [illegible] eine reflectirende [illegible] geschah [illegible] kehrende Welle [illegible] der Wand liegt, als sich die [illegible]

hier der leuchtende Punkt, vor dieser befinden. (Man vergleiche hiermit §. 223. 232 und Fig. 144.)

A. Erscheinungen in Planspiegeln.

§. 295.

Nach den Zurückwerfungsgesetzen (der vorigen §.) ergiebt sich für Planspiegel, dafs alle auf sie fallende Lichtstrahlen unter sich in derselben Richtung zurückgeworfen werden, wie sie den Spiegel trafen. Parallele Lichtstrahlen sind daher nach der Reflexion ebenfalls parallel, divergirende bleiben mit demselben Winkel divergirend und eben so convergirende convergirend.

Von der Richtigkeit dieser Angabe kann man sich leicht durch eine Zeichnung nach dem angeführten Gesetze überzeugen.

Versuch. Leitet man in einem verfinsterten Zimmer zwei parallele Sonnenstrahlen auf einen Planspiegel, so wirft sie dieser ebenfalls parallel zurück; werden sie convergirend darauf geleitet, so schneiden sich die reflectirten Strahlen vor dem Spiegel; leitet man sie aber divergirend auf denselben, so gehen die reflectirten ebenfalls aus einander.

Alle von einem leuchtenden Punkte auf einen Planspiegel fallende Lichtstrahlen werden von diesem so zurückgeworfen, dafs es scheint, als kämen sie aus einem Punkte hinter dem Spiegel, weil man gewöhnt ist, in seiner Vorstellung jeden Gegenstand dahin zu versetzen, oder sich in der Richtung vorhanden zu denken, in welcher die Lichtstrahlen in's Auge kommen. Dieser Punkt, der Durchschnittspunkt der rückwärts verlängerten reflectirten Strahlen, liegt eben so weit senkrecht hinter der Spiegelfläche, als der leuchtende von ihr absteht. Er heifst das optische oder geometrische Bild des leuchtenden Punktes.

Wäre z. B. mc Fig. 147. der senkrechte Durchschnitt eines Planspiegels, a ein leuchtender Punkt vor demselben, ab und ac zwei von diesem ausgehende Lichtstrahlen, so ist bd der reflectirte von ab und ce der reflectirte von ac. Verlängert man bd und ec hinter dem Spiegel, so durchschneiden sich diese Linien in a^1. Es ist dieſs das geometrische Bild von a,

und, wie leicht aus der Gleichheit der Dreiecke amb, a^1mb und acm, a^1cm erweislich, $a^1m = am$.

Nach der Undulationshypothese erklärt sich diese Erscheinung daraus, dafs a^1 der Mittelpunkt der reflectirten Lichtwellen ist.

Das Bild eines ganzen Gegenstandes, welches man als eine Summe leuchtender Punkte betrachten kann, befindet sich eben so weit hinter einem Spiegel, als dieser vor demselben, und hat dabei dieselbe Gröfse und Gestalt, nur mit dem Unterschiede, dafs das, was bei dem Gegenstande links ist, im Bilde rechts liegt, und so umgekehrt.

Die Verwechselung von Rechts und Links wird am deutlichsten durch Spiegelung einer Schrift oder eines Schreibenden wahrgenommen.

Vor einem verticalen Planspiegel erscheint jeder gespiegelte Gegenstand in derselben Lage gegen die Horizontalebene, in der er sich wirklich befindet. Ist ein solcher Spiegel gegen einen Gegenstand geneigt, so erscheint das Bild desselben hinter dem Spiegel unter demselben Winkel, aber nach entgegengesetzter Richtung geneigt; daher erscheint ein liegender Gegenstand in einem unter 45° geneigten Spiegel stehend, ein stehender dagegen liegend. Alle diese Erscheinungen sind ziemlich bekannt und lassen sich durch Zeichnungen nach dem Reflexionsgesetz darstellen und durch einen Planspiegel leicht nachweisen. — Das Polemoskop ist ein Operngucker mit einem unter 45° gegen seine Axe geneigten Planspiegel. Wirkung desselben. — Steht man über einem horizontal liegenden Spiegel, so sind die Füfse gegen einander gekehrt, hält man ihn über den Kopf, so findet mit diesen dasselbe statt. Hierauf beruhen auch die Erscheinungen der Abspiegelung der Gegenstände im ruhenden Wasser.

Auf dieses Gesetz der Reflexion von Planspiegeln sind ebenfalls die Constructionen mehrer wichtiger optischer Instrumente, wie z. B. des Heliostats, des Heliotrops, der verschiedenen Reflexions-Goniometer etc. begründet (s. diese Artikel in Gehler's phys. Wrtb. u. A., so wie in Marbach's phys. Lex.).

§. 296.

Auch das durch Spiegelung erzeugte Bild kann durch einen oder mehre andere Spiegel abermals reflectirt werden. Das geometrische Bild eines Gegenstandes

mittels einer solchen wiederholten Spiegelung nach jedem Orte versetzen und durch zwei oder mehr gegen einander geneigte Spiegel vervielfältigen.

Hierauf beruhen: 1.) Die Wirkungen der verschiedenen sogenannten Zauberperspective. — Die Erscheinungen, welche sie zeigen, entstehen durch parallele Zusammenstellungen mehrer Planspiegel unter Winkeln von 45° gegen das einfallende Licht.

Erster Versuch. Die Fig. 148 stellt den Durchschnitt eines Zauberperspectives dar, mit welchem man durch ein Bret oder einen ähnlichen undurchsichtigen Gegenstand sehen kann.

a b c d ist nämlich die Perspectivröhre, durch welche man hindurchsieht. Bei *b c* ist sie unterbrochen, so dafs man ein Bret oder dergleichen in diesen Zwischenraum halten kann. Das Auge bei *A* sieht dann unverändert den Gegenstand *P*.

Die Construction dieses Apparates ist folgende: Bei *k* und *l* sind in der Röhre Oeffnungen, durch welche diese mit dem hohlen Kanale *k g h l* in Verbindung steht. Bei *k*, *g*, *h*, und *l* sind unter einem Winkel von 45° angebrachte Spiegel. Den Gang des reflectirten Lichtstrahls bezeichnet die in der Mitte der hohlen Röhren gezogene Linie. Das Auge aber erblickt den Gegenstand in dem Spiegel *k* und zwar in der Richtung *A k* oder *A P*.

2.) Die Erscheinungen zwischen Winkelspiegeln. — Gegenstände, welche sich zwischen zwei unter irgend einem Winkel zusammenstofsenden Spiegeln befinden, sieht man in diesen so viel Mal weniger eins, als der Winkel in 360° enthalten ist, oder es entstehen von diesen $\frac{300}{n} - 1$ geometrische Bilder, wobei *n* jedesmal die Anzahl der Grade des Winkels ausdrückt.

Zweiter Versuch. Ein bekannter Apparat ist das von *Brewster* erfundene Kaleidoskop. — Es besteht dasselbe aus einer etwa 10 Zoll langen, 2 — 3 Zoll weiten, inwendig geschwärzten Röhre. Zwei oder auch drei auf der Rückseite geschwärzte Glasspiegel gehen der Länge nach durch die Röhre und stofsen an ihrer Peripherie gewöhnlich unter einem Winkel von 60° zusammen. Die eine Oeffnung der Röhre wird durch eine dünne weifse Glasscheibe verschlossen, über welche ein Deckel mit mattgeschliffener Glasplatte pafst, so dafs zwischen beiden Glasplatten ungefähr ein Zwischenraum von $\frac{1}{4}$ Zoll verbleibt. Es ist dieser zur Aufnahme kleiner, am besten durchsichtiger farbiger Objecte bestimmt. Die andere Oeffnung der Röhre bekommt ebenfalls einen Deckel, in dessen Mitte sich

eine kleine Ocularöffnung befindet. — Hält man nun das Rohr mit der matten Glasfläche gegen das Licht und sieht man durch die Ocularöffnung in dieselbe, so bilden sich bei dieser Zusammenstellung der Spiegel die zwischen den Winkeln derselben liegenden Objecte noch fünfmal ab und erzeugen das Bild eines regelmäfsigen sechseckigen Sternes. Jede Aenderung in der Lage der Objecte zwischen den Spiegelflächen erzeugt einen anderen Stern (s. d. Art. Kaleidoskop in Gehler's phys. Wrtb. u. in Marbach's phys. Lex.).

Dritter Versuch. Stellt man auf die Capitallinien einer gezeichneten Befestigungsfront einen Winkelspiegel, so erblickt man in diesem das ganze Bild des befestigten Vielecks.

(In manchen älteren Schriften über Optik, so wie auch in *J. A. Schmidt's* phys. Experimenten und Belustigungen 1831, findet man noch mehre andere ähnliche Spiegelapparate beschrieben.)

3.) Die Einrichtungen und der Gebrauch der Spiegelsextanten und des sogenannten Reflectors oder des reflectirenden Halbkreises von *Duglas*. — Beide Instrumente dienen dazu, durch Hilfe zweier Planspiegel, von welchen der eine beweglich ist, den Winkel zu messen, den zwei Objecte mit dem Aufstellungsorte des Instrumentes machen. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. und Marbach's phys. Lex. Art. Sextant, so wie Handbibliothek f. Officiere X. §. 75—70)

Ihre Einrichtung ist im Allgemeinen folgende: Der Planspiegel ab Fig. 149 ist feststehend, der zweite cd aber um B beweglich. In der Lage OB ist letzterer parallel zu dem Spiegel ab, und ein aus B beschriebener Kreisbogen CO bis zu der parallelen Lage beider Spiegel beträgt den 6. Theil des Kreisumfanges oder Winkel $CBO=60°$. Der bewegliche Spiegel cd steht mit seiner Fläche senkrecht auf dem Zeiger BZ, welcher durch seine Bewegung von O bis C ihn zugleich mit um den Punkt B dreht und ihn dadurch aus der parallelen Lage bringt. Auf dem eingetheilten Kreisbogen giebt dann der Zeiger die Anzahl der Grade des Winkels OBZ, oder die Gröfse des Drehungswinkels bei der Lage cd des Spiegels an.

Denkt man sich nun die Spiegelflächen dc und ba verlängert, bis sie sich in D schneiden, so drückt dann der Winkel t die jetzt stattfindende gegenseitige Neigung derselben aus, und wegen des Parallelismus von DC und BO ergiebt sich, dafs der Drehungswinkel bei B, nämlich der Winkel cBO, dem Neigungswinkel t der Spiegelflächen gleich sein mufs.

Wollte man nun von den Standpunkte A aus den Winkel messen, den die beiden Gegenstände g und f mit diesem bilde-

ten, also den Winkel w, so müfste man durch Drehung des Spiegels cd mittels des Zeigers BZ diesem eine solche Lage geben, dafs, während das Auge in O nach der Richtung OC den Gegenstand f sieht, es zugleich auch in dem Spiegel ab, nach derselben Richtung, das auf dem Wege $gBCO$ reflectirte Bild des Gegenstandes g erblickte. Dann ergiebt sich, dafs in dem $\triangle CDB \; \angle t = \angle \beta - \alpha^1$
und in dem $\triangle CBA \; \angle w = \angle(\beta + x) - (\alpha^1 + \gamma)$.

Nun sind aber nach dem Reflectionsgesetze:

$\angle \alpha^1 = \angle \alpha$ eben so $\angle \beta = \angle \beta^1$
als Scheitelwinkel aber auch $\angle \alpha = \angle \gamma$ - - $\angle \beta^1 = \angle x$
daher $\angle \alpha^1 = \angle \gamma$ und $\angle \beta = \angle x$

woraus mithin folgt, dafs

$$\angle w = \angle 2\beta - \angle 2\alpha^1$$

und da $\angle t = \angle \beta - \angle \alpha^1$

auch $\angle w = \angle 2t$ od. $\angle 2 \; ZBO$ sein mufs, dafs mithin der vom Zeiger in Z abgeschnittene Winkel gerade die Hälfte des zu suchenden Winkels w ist. Um daher die Gröfsen von w unmittelbar im richtigen Gradmafse zu erhalten, wird der Kreisbogen des Sextanten in 120 Theile getheilt, wo dann jeder solcher Theil einem Grade des Winkels w entspricht.

4) Die Erscheinungen in Spiegelzimmern zwischen Parallelspiegeln.

Steht zwischen zwei zu einander parallelen Planspiegeln ein Gegenstand, so mufs derselbe so weit hinter jedem Spiegel als Spiegelbild erscheinen, als er sich vor ihnen befindet. Eine eben solche Spiegelung erfolgt aber auch wieder von jedem dieser Bilder in dem gegenüberstehenden Spiegel, und auf solche Weise müfste eine unendliche Vervielfältigung des Gegenstandes stattfinden, wenn nicht bei jeder neuen Reflexion ein Theil des Lichtes absorbirt würde.

B. Erscheinungen in sphärischen und gemischten Spiegeln.

§. 297.

Unter sphärischen Spiegeln versteht man gewöhnlich solche, welche Segmente einer Kugeloberfläche sind. Ist ihre hohle Seite polirt, so heifsen sie Concav- oder Hohlspiegel; spiegeln sie aber auf der erhabenen Seite, so werden sie Convex- oder erhabene Spiegel genannt.

Bei solchen Spiegeln heifst der Mittelpunkt der Kugel, *c*. Fig. 150 und 151, von deren Oberfläche sie einen Theil ausmachen, der geometrische Mittelpunkt, der Punkt *m* aber in der Spiegelfläche, welcher von der Peripherie überall gleich weit entfernt ist, der optische Mittelpunkt des Spiegels. Eine durch diese beiden Mittelpunkte gehende unbegrenzte gerade Linie *mc* giebt die Axe und die vom Rande auf diese gefällte Senkrechte *no* die halbe Breite (Oeffnung) des Spiegels. Alle Halbmesser der Kugel, wie z. B. *cm*, *cs* etc., sind zugleich Halbmesser des Spiegels, und da sie senkrecht auf der Kugeloberfläche stehen, so geben sie daher für jeden Einfallspunkt eines Lichtstrahls das Einfallsloth ab (§. 294). Jeder von einem leuchtenden Punkte *l* durch den geometrischen Mittelpunkt gehende Lichtstrahl, wie *lcs*, *lsc*, heifst ein Hauptstrahl.

Die Zurückwerfung des Lichtes von jedem Punkte einer sphärischen Spiegelfläche erfolgt nach dem allgemeinen Gesetze der Reflexion des Lichtes (§. 294). Man findet daher auch den Weg jedes zurückgeworfenen Lichtstrahls, wenn man den Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich annimmt.

Ist z. B. *fs* ein Lichtstrahl, der Fig. 150 den Hohlspiegel und Fig. 151 den erhabenen in *s* trifft, so ist *sb* der reflectirte Lichtstrahl, wenn $y = x$ ist.

§. 298.

Je nach der verschiedenen Richtung, in welcher Lichtstrahlen die Fläche eines sphärischen Hohlspiegels treffen, werden sie von diesem auf folgende verschiedene Weise zurückgeworfen:

1.) Alle mit der Axe des Spiegels parallel auffallende Lichtstrahlen werden so reflectirt, dafs jeder derselben nach

der Zurückwerfung die Axe durchschneidet. Sind diese Strahlen der Axe sehr nahe, so schneiden sie dieselbe nach ihrer Zurückwerfung in einem Punkte, welcher in die Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkte liegt, wie sich aus der in Fig. 152 angewendeten Construction ergiebt. Diesen Punkt *b* nennt man den Brennpunkt oder Focus und seine Entfernung vom optischen Mittelpunkte *bm*, welche also stets dem halben Kugelradius gleich ist, die Brennweite oder den Focalabstand. Andere Punkte der Axe, durch welche reflectirte Lichtstrahlen gehen, führen den Namen Vereinigungspunkte, und ihre Entfernung vom optischen Mittelpunkte heifst Vereinigungsweite.

Die Annahme, dafs sich die nahe bei der Axe parallel mit dieser auf einem Kugelhohlspiegel einfallenden Strahlen sämmtlich im Brennpunkte vereinen, ergiebt sich aus Fig. 152 und der dazu gehörigen Erklärung. Die Grenze, innerhalb welcher dieses aber als noch mit der Wahrheit zusammenfallend betrachtet werden kann, gilt von den Lichtstrahlen, welche nicht weiter als höchstens 10 — 15° entfernt vom optischen Mittelpunkte auf die Spiegelfläche fallen. Mathematisch richtig können sich jedoch nur gleich weit von der Axe einfallende Strahlen in einem Punkte durchschneiden, welche Vereinigungspunkte der Spiegelfläche immer näher rücken, je weiter die einfallenden Strahlen von der Axe liegen. Aus der Fig. 153 ist diefs ersichtlich. Man nennt diefs die Abweichung der Lichtstrahlen wegen der Kugelgestalt des Spiegels. — Erklärung des hieraus entstehenden Brennraumes und der Brennlinie (katakaustischen Linie). — Bei parabolischen Spiegeln dagegen findet diese Abweichung nicht statt, sondern bei ihnen vereinigen sich alle der Axe parallele Lichtstrahlen genau im Brennpunkte der Parabel. (Man vergleiche hiermit §. 224.)

Erster Versuch. Von dieser gesetzlichen Zurückwerfung paralleler Lichtstrahlen kann man sich am deutlichsten auf folgende Weise überzeugen:

In einer Blechtafel, durch welche eine gröfsere Oeffnung in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers zu verschliefsen ist, bringe man, wie Fig. 154 darstellt, etwa 4 bis 6 gegen 2‴ weite Löcher *a*, in der Mitte dieser das eben so grofse *c*,

und außerhalb derselben in einiger Entfernung noch zwei solche Oeffnungen *g* an. Es müssen dieselben durch Schieber einzeln geöffnet und verschlossen werden können. Sonnenstrahlen, welche durch diese Oeffnungen hindurch gehen, werden unter sich parallel sein. — Stellt man nun einen Hohlspiegel so auf, daſs der durch *c* kommende Sonnenstrahl den optischen Mittelpunct *m*, Figur 153, senkrecht trifft, und öffnet man allmälig die nahe bei *c* befindlichen Löcher *a*, so wird jeder dieser einzelnen Sonnenstrahlen so reflectirt, daſs er die Axe *cm* in Brennpuncte *b* durchschneidet. Sie bilden eine vom Spiegel ausgehende Strahlenpyramide, welche ihre Spitze in *b* hat. Oeffnet man aber auch noch die beiden von der Axe entfernter liegenden Löcher *g*, so werden die durch sie kommenden Sonnenstrahlen, welche den Spiegel näher am Rande treffen, so reflectirt, daſs sie die Axe zwischen der Spiegelfläche und dem Brennpuncte durchschneiden. — Will man die einzelnen Sonnenstrahlen recht deutlich sichtbar erhalten, so ist es am vortheilhaftesten, sie durch den Rauch einer Räucherpfanne gehen zu lassen.

Zweiter Versuch. Um die Brennlinie sichtbar darzustellen, dient ein Cylinderspiegel, d. h. ein hohler Halbcylinder, etwa aus einem Streif polirten Weiſsblechs oder aus einem etwas breiten Stück einer polirten Uhrfeder bestehend, welcher an die Peripherie eines mit weiſsem Papier überzogenen halbkreisförmig abgerundeten Bretchens befestigt wird. — Hält man die Spiegelfläche gegen die Sonnenstrahlen oder gegen die Flamme eines Lichtes, so erscheint auf dem Papiere ein erleuchteter Raum, der durch diese Linie ungefähr so, wie sie die Figur 153 darstellt, begrenzt ist.

Hat dieser Hohlspiegel aber eine parabolische Krümmung, so erscheint im Brennpuncte derselben die hellste Stelle, von wo aus sternförmig geradlinige Strahlen ausgehen.

Praktische Auffindung des Brennpunctes mittels der Sonnenstrahlen.

2.) Alle aus dem Brennpuncte in der Nähe des optischen Mittelpunctes auf den Spiegel fallende Lichtstrahlen müssen von diesem so zurückgeworfen werden, daſs sie unter sich und mit der Axe parallel gehen. In Folge dessen können sich solche Lichtstrahlen nirgends durchschneiden.

Die Richtigkeit dieser Erscheinung folgt aus der vorhergehenden und ist aus den in der Figur 152 angegebenen Pfeilen ersichtlich.

3.) Alle Lichtstrahlen, welche aus dem Kugelmittelpuncte kommen oder durch diesen gehen, mithin alle Hauptstrahlen, treffen die Spiegelfläche senkrecht und müssen folglich nach dem Mittelpuncte zurückgeworfen werden.

4.) Lichtstrahlen dagegen, welche aus einem Puncte der Axe kommen, der über dem Kugelmittelpuncte liegt, z. B. wie *f* Figur 155, oder welche die Axe hinter dem geometrischen Mittelpuncte durchschneiden, werden so zurückgeworfen, dafs sie die Axe zwischen dem Brennpunct und dem geometrischen Mittelpunct, z. B. in *t*, durchschneiden. Man sehe Figur 155.

5.) Durchschneiden aber Lichtstrahlen die Axe zwischen dem Brennpunct und dem geometrischen Mittelpunct, wie z. B. *ts* Figur 155, so müssen sie sonach von der Spiegelfläche dergestalt reflectirt werden, dafs sie auf die Axe erst hinter dem geometrischen Mittelpunct treffen, was sich ebenfalls aus den in der Figur 155 angegebenen Pfeilen ergiebt.

6.) Alle Lichtstrahlen endlich, welche aus einem Puncte der Axe zwischen dem Spiegel und Brennpunct kommen, wie z. B. aus *r* Figur 156, werden von dem Spiegel so zurückgeworfen, dafs sie mit der Axe divergirend fortgehen.

§. 299.

Das Bild eines leuchtenden, vor einem Spiegel befindlichen Punctes ist (nach §. 295) da, wo alle von ihm ausgehende Strahlen sich nach der Zurückwerfung, rückwärts verlängert, durchschneiden. Es reicht also hin, den Durchschnittspunct zweier reflectirter Strahlen zu kennen, um den Ort des Bildes zu finden. Unter den unendlich vielen

Strahlen, welche von jedem leuchtenden Puncte auf einen Hohlspiegel fallen, sind besonders zwei zur Bestimmung der Lage der Bilder am brauchbarsten, nämlich ein Hauptstrahl, der in sich selbst zurückgeworfen wird, und ein zur Axe des Spiegels paralleler Strahl, der nach der Zurückwerfung durch den Brennpunct geht. Der Durchschnittspunct dieser beiden reflectirten Strahlen bestimmt dann die Lage des Bildes gegen den Spiegel.

Statt des parallel zur Axe gehenden Lichtstrahls kann auch jeder, den Spiegel in einer anderen Richtung treffende Lichtstrahl benützt werden, nur mit dem Unterschied, dafs sich bei einem solchen der zurückgeworfene Strahl nicht so einfach bestimmen läfst.

Um z. B. die Lage des Bildes von dem vor dem Hohlspiegel es Figur 157 befindlichen leuchtenden Puncte *f* zu finden, hat man nur nöthig, den zur Axe parallelen Strahl *fs* von *s* durch den Brennpunct *b*, als reflectirten Strahl *sl*, und von *f* durch den geometrischen Mittelpunct *c*, als Hauptstrahl *fco*, zu ziehen. Der Durchschnittspunct *l* dieser beiden Strahlen ist zugleich die Lage des Bildes von *f*.

Das Bild jedes in der Axe des Spiegels liegenden Lichtpunctes mufs daher in die Axe, das jedes aufserhalb derselben befindlichen auf ihre entgegengesetzte Seite zu liegen kommen.

Um daher die Lage des von einem solchen Spiegel reflectirten Bildes eines ganzen Gegenstandes aufzufinden, hat man nur nöthig, die Lage seiner Grenzpuncte zu bestimmen.

§. 300.

Sphärische Hohlspiegel zeigen nun, in Folge der im vorigen §. erklärten verschiedenartigen Zurückwerfung der Lichtstrahlen, folgende Erscheinungen:

1.) Das Bild eines sehr weit vom Spiegel entfernten Gegenstandes, wie z. B. der Sonne, erscheint im Brennpuncte verkehrt und sehr klein.

2.) Jeder Gegenstand, der sich in einer gröfseren Entfernung vom Hohlspiegel befindet, als dessen geometrischer

Mittelpunct, erzeugt zwischen diesem und dem Brennpuncte ein Bild, welches kleiner als der Gegenstand ist und gerade die verkehrte Lage desselben hat. Man sehe Figur 158.

3.) Nähert sich der Gegenstand dem Spiegel bis auf die Entfernung seines Halbmessers, wie z. B. *NS* Figur 159, so erscheint das Bild *ns* in dem Abstande des geometrischen Mittelpunctes, hat dann dieselbe Gröfse wie der Gegenstand, bleibt aber ebenfalls noch in seiner Lage gegen diesen verkehrt, wie aus Figur 159 ersichtlich ist.

4.) Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Brennpuncte und Kugelmittelpuncte, z. B. in *ns* Figur 158, so erscheint dessen verkehrtes, aber vergröfsertes Bild hinter dem geometrischen Mittelpuncte in *NS*.

Alle die nach 1—4 vor Hohlspiegeln entstehenden verkehrten Bilder nennt man physische oder Luftbilder.

Von der Entstehung und der Lage solcher Luftbilder kann man sich sehr leicht durch folgenden Versuch überzeugen:

Versuch. In einem verfinsterten Zimmer bringe man die Flamme eines Lichtes nach und nach in die unter 1—4 angegebenen Entfernungen. Man kann dann in allen diesen Fällen das entstehende Luftbild mit einer weifsen Fläche auffangen, sobald man sie in die bezeichneten Abstände vom Spiegel bringt.

Optische Täuschungen, welche durch solche Luftbilder hervorgebracht werden können (Marbach's phys. Lex. III. 499). — Anwendung dieser Luftbilder bei mehren optischen Instrumenten, z. B. bei den katoptrischen Fernröhren (§. 362).

5.) Kommt in den Brennpunct eines Hohlspiegels ein leuchtender Körper, z. B. die Flamme einer argantischen Lampe oder eine glühende Kohle, so entsteht gar kein Bild, sondern die ganze Spiegelfläche erscheint leuchtend, weil in diesem Falle, nach 2 §. 298, der Spiegel alle auf ihn fallende Lichtstrahlen parallel zurückwirft.

Auch diese Erscheinung läfst sich leicht durch einen Versuch bestätigen, der übrigens wohl keiner näheren Beschreibung bedarf.

Anwendungen hiervon, um das Licht eines leuchtenden Körpers zu verstärken und in gerader Linie nach einer bestimmten Richtung fortzupflanzen, macht man bei den verschiedenen Reverberen, z. B. an Mikroskopen und Zauberlaternen, im Grofsen aber vorzüglich auf Leuchtthürmen.

6.) Bringt man endlich einen Gegenstand zwischen dem Spiegel und Brennpunct, z. B. in *NS* Figur 160, so erscheint das Bild des Gegenstandes hinter dem Spiegel als sogenanntes geometrisches Bild, aufrecht und vergröfsert, und zwar um so gröfser, je näher sich der Gegenstand bei dem Brennpuncte befindet. Die vom Spiegel reflectirten Lichtstrahlen sind nämlich in diesem Falle, nach 5 §. 298, divergirend, durchschneiden sich folglich hinter dem Spiegel, weshalb es dem Auge scheint, als kämen sie aus diesen Durchschnittspuncten. Die Figur 160 wird das Erklärte veranschaulichen.

Diese Erscheinungen lassen sich ebenfalls leicht mit jedem Hohlspiegel durch Versuche, die einer näheren Beschreibung nicht weiter bedürfen, bestätigen.

Man nennt die Hohlspiegel wegen dieser letzteren Wirkung auch Vergröfserungsspiegel und, weil sie die Lichtstrahlen aller Gegenstände, die sich vor ihnen in einer gröfseren Entfernung als der Brennpunct befinden, vereinigen (nach 1—4 §. 298) Sammelspiegel, — Brennspiegel aber, weil die im Brennpuncte vereinigten Sonnenstrahlen eine sehr bedeutende Hitze erzeugen, woraus auch die Benennung dieses Punctes entstanden ist.

Alle die in diesem und den beiden vorangehenden §. §. nach dem allgemeinen Reflexionsgesetze aus der Gestalt der Hohlspiegel constructiv abgeleiteten Erscheinungen lassen sich aber auch, wie im Nachfolgenden gezeigt werden soll, durch einfache geometrische Lehrsätze beweisen.

Stellt Figur 161 den Durchschnitt eines Hohlspiegels durch eine Ebene längs der Axe vor, so ist M sein optischer, C s geometrischer Mittelpunct, und CM, CE, $CF = r$ sind Ra dieses Spiegels. Befindet sich nun bei B in der Axe ein l tender Punct, dessen Entfernung vom

$MB = a$ ist, von welchem BE einen einfallenden, ED den reflectirten Lichtstrahl und $MD = \alpha$ die Vereinigungsweite darstellt, so ist, weil Winkel $x = y$

$$ED : EB = CD : CB,$$

und wenn Winkel MBE oder z sehr klein, also annähernd $BE = BM = a$, sowie $ED = MD = \alpha$ auch:

$$MD : MB = CM - MD : MB - MC$$

oder $\alpha : a = r - \alpha : a - r$

woraus $a\alpha - r\alpha = ar - a\alpha$

oder $2a\alpha = ar + ar$ folgt,

durch $ra\alpha$ dividirt erhält man dann

$$\text{I.,}\ \frac{2}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

Ist nun $a = \infty$, d. h. ist der leuchtende Punct unendlich weit entfernt oder fallen die Strahlen parallel ein, so verschwindet $\frac{1}{a}$, und es bleibt:

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{\alpha}$$

$$\text{oder}\ \frac{r}{2} = \alpha = p,$$

d. h. der Brennpunct p liegt in der Mitte des Halbmessers. Substituirt man jetzt in die Gleichung I. die statt des halben Radius gefundene Brennweite p, so verwandelt sich jene in:

$$\text{II.,}\ \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

und dann heifst diese Gleichung in Worten: der umgekehrte Werth der Brennweite ist der Summe der umgekehrten Werthe beider Vereinigungsweiten gleich.

Liegt aber der leuchtende Punct N aufserhalb der Axe, dessen Lage durch die Abscisse $MS = a$ und die Ordinate $SN = b$ gegeben ist, und bilden die von N kommenden Strahlen mit der Axe nur sehr kleine Winkel, so ist der Vereinigungspunct n dieser Strahlen, der im Durchschnittspuncte des Hauptstrahls NF und des von E oder vom optischen Mittelpuncte M reflectirten Strahles liegt, seine Abscisse $Ms = \alpha$ und seine Ordinate $sn = \beta$ gesetzt, durch die Gleichungen

$$\text{1.,}\ \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha},$$

$$\text{2.,}\ \beta = \frac{\alpha}{a} \cdot b$$

gegeben. Verlängert man nämlich den Strahl NE so lange rückwärts, bis er die Axe in B trifft, so ist MD die Vereinigungsweite des Punctes B, und es gilt nach der voranstehenden Gleichung II.:

$$\text{A.,}\quad \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

Nun ist, wenn ME in Folge seiner Kleinheit als gerade Linie gedacht werden kann,

$$\triangle\ MED \sim \triangle\ Dsn$$

$$\text{also } ME : MD = sn : sD = \beta : a - MD,$$

$$\text{woraus } a \,.\, ME - MD \,.\, ME = \beta \,.\, MD$$

$$\text{und } MD = \frac{a \,.\, ME}{\beta + ME}$$

$$\text{oder } \frac{1}{MD} = \frac{\beta}{a \,.\, ME} + \frac{ME}{a \,.\, ME} = \frac{\beta}{a \,.\, ME} + \frac{1}{a}.$$

Ferner ist unter gleichen Voraussetzungen anzunehmen, dafs auch

$$\triangle\ MEB \sim \triangle\ SNB,$$

$$\text{also } ME : MB = SN : SB = b : MB - a,$$

$$\text{woraus } ME \,.\, MB - a \,.\, ME = b \,.\, MB$$

$$\text{und } MB = \frac{a \,.\, ME}{ME - b}$$

$$\text{und } \frac{1}{MB} = \frac{ME}{a \,.\, ME} - \frac{b}{a \,.\, ME} = \frac{1}{a} - \frac{b}{a \,.\, ME}.$$

Setzt man diese Werthe in die Gleichung A., so erhält man

$$\text{B.,}\quad \frac{1}{p} = \frac{1}{a} - \frac{b}{a \,.\, ME} + \frac{\beta}{a \,.\, ME} + \frac{1}{a}$$

$$= \frac{1}{a} + \frac{1}{a} + \frac{1}{ME}\left(\frac{\beta}{a} - \frac{b}{a}\right)$$

Nun ist aber auch $\triangle\ MSN \sim \triangle\ Msn$, also

$$ns : Ms = NS : MS$$

$$\text{oder } \beta : \alpha = b : a$$

$$\text{und } \beta = \frac{\alpha}{a} \,.\, b, \text{ wie Gleichung 2.}$$

Ferner ist

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{b}{a}$$

$$\text{oder } \frac{\beta}{\alpha} - \frac{b}{a} = 0;$$

also geht die Gleichung B über in

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}, \text{ wie Gleichung 1 aussagt.}$$

Alle vom Puncte *N* aufserhalb der Axe auf den Spiegel fallende Strahlen werden demnach auch in *n* vereinigt und bilden einen Lichtkegel, dessen Spitze im Hauptstrahle liegt.

Nach dem Vorhergehenden mufs nun, wenn in Figur 161 *SN* einen Gegenstand vorstellt, *sn* sein Bild sein, dessen lineare Gröfse die Gleichung 2., $\beta = \frac{\alpha}{a} \cdot b$ angibt.

Gesetzt, vor einem Hohlspiegel von 6 Zoll Brennweite p befände sich in einem Abstande von 24 Zoll $= a$ ein Gegenstand von 6 Zoll Höhe $= b$, und man wollte wissen, in welcher Entfernung vom Spiegel das Bild desselben erscheinen und welche Gröfse β es haben würde. Nach den abgeleiteten Gleichungen ergibt sich:

$$1., \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} = \frac{1}{6} - \frac{1}{24} = \frac{1}{8}$$

oder $\alpha = 8$ Zoll.

$$2., \beta = \frac{\alpha}{a} \cdot b = \frac{8}{24} \cdot 6$$

oder $\beta = 2$. Zoll.

Die Gleichungen 1 und 2 lehren ferner:

1.) Liegt der Gegenstand unendlich weit entfernt, ist also $a = \infty$, $\frac{1}{a} = 0$, so wird $\alpha = p$, d. h. das Bild liegt im Brennpuncte und ist unendlich klein.

2.) Wenn a abnimmt, so wächst α; d. h. nähert sich der Gegenstand dem geometrischen Mittelpuncte, so rückt auch das Bild nach ihm zu, immer gröfser werdend, so dafs für $a = r$ auch $\alpha = r$ wird, woraus folgt, dafs in der Entfernung des geometrischen Mittelpunctes Bild und Gegenstand gleiche Gröfse haben.

3.) Rückt nun der Gegenstand dem Brennpuncte näher, so entfernt sich das Bild vom geometrischen Mittelpuncte, stets an Gröfse zunehmend. Für $a = p$ wird $\frac{1}{\alpha} = 0$, also $\alpha = \infty$; d. h. das Bild eines im Brennpuncte befindlichen Gegenstandes liegt unendlich weit entfernt oder kommt vielmehr gar nicht zur Entstehung, da die reflectirten Strahlen parallel laufen. (Clemens, Grundrifs der Naturlehre 1839; Fischer's mech. Naturlehre II. 1840.)

§. 301.

Bei erhabenen oder convexen Spiegeln liegt der Brennpunct *b'* Figur 162 eben so weit hinter der Spiegelfläche, als er sich bei Hohlspiegeln vor ihr befindet, und heißt auch bisweilen negativer Brennpunct oder Zerstreuungspunct. — Alle mit der Axe parallelen Lichtstrahlen, welche auf eine solche Spiegelfläche fallen, wie z. B. *fs*, *po*, werden von dieser divergirend, wie *sb* und *oq*, und zwar so zurückgeworfen, als kämen sie aus dem Zerstreuungspuncte *b'*. — Lichtstrahlen, welche, aus einem Puncte kommend, den Spiegel also divergirend treffen, wie z. B. *ls*, *lo*, werden nach der Reflexion noch mehr auseinander gebrochen, wie *st*, *or*, und scheinen aus Puncten zu kommen, die zwischen dem Zerstreuungspuncte und dem Spiegel liegen.

In Folge dieser Eigenschaft nennt man dergleichen Spiegel auch Zerstreuungsspiegel.

Den Ort des Bildes von einem jeden leuchtenden Puncte und mithin auch von einem ganzen Gegenstande findet man übrigens auf dieselbe Weise wie bei Hohlspiegeln (§. 299). Man vergleiche hierzu Figur 163.

Sphärische Convexspiegel zeigen nun, in Folge der eben erklärten gesetzlichen Zurückwerfung der Lichtstrahlen, folgende Erscheinungen:

1.) Die Bilder der Gegenstände erscheinen alle hinter dem Spiegel oder sind geometrische Bilder.

2.) Sie sind alle aufrecht, und zwar

3.) sämmtlich kleiner als der Gegenstand, um so mehr, je weiter dieser vom Spiegel entfernt und je kleiner der Halbmesser des Spiegels ist. Von sehr weit entfernten Gegenständen erscheint das Bild im Zerstreuungspuncte.

In Folge dieser Eigenschaft nennt man die Convexspiegel auch Verkleinerungsspiegel. — Anwendung derselben als Malerspiegel.

Auch für diese Spiegel sind dieselben mathematischen Ableitungen, wie für Hohlspiegel (§. 300) giltig, nur muſs hier r negativ gesetzt werden, also:

$$-\frac{2}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} \text{ und } -\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{r}.$$

1.) Für $a = \infty$, d. h. für einen unendlich weit vom Spiegel entfernten Gegenstand ist $\alpha = -p$.

2.) Nimmt a ab, so muſs auch α abnehmen, so daſs, wenn $a = r$ wird, $\alpha = -\frac{r}{3}$.

3.) Für $a = o$, wird auch $\alpha = o$, d. h. Gegenstand und Bild fallen im Spiegel zusammen.

§. 302.

Cylindrische und konische oder Kegel-Spiegel wirken in der Richtung der Axe als ebene, in der darauf senkrechten Richtung als sphärische Spiegel. Steht ein Cylinderspiegel vertical, so erscheint in ihm der Länge oder der Richtung seiner Axe nach Alles in seiner wahren Gröſse, der Breite nach aber vergröſsert oder verkleinert, je nachdem die hohle oder erhabene Fläche desselben polirt ist. Liegt ein solcher Spiegel horizontal, so zeigen sich in ihm die Erscheinungen gerade umgekehrt.

Der konische Spiegel unterscheidet sich vom Cylinderspiegel dadurch, daſs dessen Oberfläche in senkrechter Richtung zur Axe unzählige sphärische Spiegel darstellt, weil die mit der Grundfläche parallelen Durchschnitte Kreise sind, die nach der Spitze zu immer kleiner werden. In einem solchen vertical stehenden Spiegel zeigen sich daher die Gegenstände in ihrer wahren Höhe, aber unten schmal und nach der Spitze immer noch schmäler werdend.

Dergleichen Spiegel stellen daher die Bilder der Gegenstände in anderen Dimensionsverhältnissen dar, oder sie zeigen entstellte und verzerrte Bilder der Gegenstände. Soll also in ihnen ein Bild in natürlichen Verhältnissen

erscheinen, so muſs es nach bestimmten Gesetzen verzerrt gezeichnet werden. Man nennt dergleichen Bilder, wie die von ihnen in den Spiegeln entstehenden, katoptrische Anamorphosen.

§. 303.

Schon §. 292 wurde gesagt, daſs alle Körper von dem auf sie fallenden Lichte mehr oder weniger zurückwerfen. Durch Hülfe des Photometers von *Ritchie* (§. 287) kann man die Stärke des auffallenden und reflectirten Lichtes bestimmen. Auf diese Weise hat man denn gefunden, daſs die Intensität des senkrecht reflectirten Lichtes von einem Metallspiegel ungefähr $\frac{2}{3}$, vom Quecksilber $\frac{1}{2}$, vom Wasser $\frac{1}{55}$, vom Glas $\frac{1}{40}$ des einfallenden Lichtes beträgt, daſs aber dieses Verhältniſs immer kleiner wird, je schiefer das Licht auffällt. Dieser Verlust an Licht geht durch Verschluckung oder Absorption in die Masse des reflectirenden Körpers über. Es folgt daher aus diesen Betrachtungen, daſs Metallspiegel die beſste Reflexion gewähren.

IV. Von der Brechung (Refraction) des Lichtes. Dioptrik.

§. 304.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, welches entweder eine andere Dichtheit oder andere materielle Beschaffenheit besitzt, so kann er seine vorige Richtung beibehalten oder auch eine andere annehmen. Er geht in derselben Richtung fort, sobald er die Grenzfläche des Mittels senkrecht trifft, ändert sie aber, wenn er schief auffällt. Diese Ablenkung des Lichtes von seiner ursprünglichen Richtung nennt man die Brechung oder Refraction der Lichtstrahlen.

Erster Versuch. Auf einen Glaswürfel oder auf eine hinlänglich starke Platte weifsen Glases lasse man in einem verfinsterten Zimmer einen Sonnenstrahl schief auffallen. Der Strahl wird im Glase seinen Weg nach einer anderen Richtung fortsetzen.

Zweiter Versuch. Auf den Boden eines undurchsichtigen Gefäfses, Figur 164, falle ein Schatten von der Breite *ab*. — Füllt man das Gefäfs mit Wasser, so wird der Schatten schmäler, folglich der gerade Lichtstrahl *sb* bei *d* nach *c* gebrochen sein.

Einen ähnlichen Erfolg erhält man, wenn man auf den Boden eines viereckigen Kästchens eine dicke Glasplatte legt.

Dritter Versuch. Man lege auf den Boden eines undurchsichtigen Gefäfses eine Münze oder sonst einen glänzenden Körper und entferne sich vom Rande des Gefäfses so weit, bis die Münze von diesem verdeckt wird. — Giefst man nun Wasser in das Gefäfs, oder legt man eine dicke Glasplatte auf die Münze, so wird dieselbe wieder sichtbar.

Hierauf beruht auch die Erscheinung, dafs ein gerader, schräg in das Wasser gehaltener Stab von der Oberfläche an gebrochen erscheint, sowie, dafs der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäfses, oder der Grund eines hellen fliefsenden Gewässers weniger tief uns vorkommt, als er wirklich ist.

Ist *mn* Figur 165 die Scheidegrenze zweier durchsichtigen Mittel, z. B. von Luft und Glas, oder Luft und Wasser, und trifft ein Lichtstrahl diese in der schiefen Richtung *ab*, so wird er gebrochen, d. h. er geht nach einer anderen Richtung, z. B. nach der Linie *bc* oder *bk*, fort. Der Punct *b* heifst dann der Einfallspunct, die Scheidegrenze *mn*, welche auch gekrümmt sein kann, in die *b* rechtwinkelig durchschneidende Linie *dc* das Einfallsloth, der Winkel *x* der Einfallswinkel und der *y* oder *kbe* der Brechungswinkel, sowie *z* der gebrochene oder Ablenkungswinkel. Nähert sich der gebrochene Strahl, wie bei *bc*, dem Einfallslothe, so sagt man, er werde zum Einfallslothe gebrochen, entfernt er sich aber weiter von demselben, wie *bk*, so sagt man, er werde vom Einfallslothe gebrochen. Be-

Alcohol, absoluter, ...	1,372
Terpentinöl	1,470
Kalkspath, gewöhnliche Brechung,	1,6543
„ ungewöhnliche „	1,4833
Crownglas, englisches, . . .	1,500
„ Frauenhofer'sches, im Mittel	1,532
Bergkrystall	1,562
Flintglas, von Dollont, . . .	1,584
„ von Frauenhofer, im Mittel,	1,639
Schwefel, natürlicher, . . .	2,040
Phosphor	2,224
Diamant	2,439 bis 2,487
Chromsaures Blei	2,936

Der letztgenannte Körper besitzt das stärkste Brechungsvermögen, und die Brechungsverhältnisse aller bekannten Stoffe liegen, wie auch schon die vorstehende kleine Tabelle zeigt, zwischen 1 und 3. (Vollständigere Tabellen hierüber findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. 1161 und in Marbach's phys. Lex. I. 344.)

Ein Gesetz, nach welchem sich das verschiedene Brechungsvermögen der Körper richtet, ist bis jetzt noch nicht bekannt, nur so viel zeigt sich, daſs im Allgemeinen dichtere Körper das Licht stärker brechen als weniger dichte, und daſs sich auch die brechende Kraft in denselben Stoffen vermehrt, wenn ihre Dichtheit, wie z. B. bei Gasen, zunimmt. Auſserdem ist auch das Brechungsvermögen nicht allein von der Dichtheit, sondern auch von der chemischen Beschaffenheit der Körper abhängig; namentlich hat man bemerkt, daſs brennbare Körper das Licht stärker als nicht brennbare brechen.

5.) Die Brechung des Lichtes verwandelt sich gänzlich in eine Zurückwerfung desselben, wenn es aus einem stärker brechenden Mittel in ein schwächer brechendes übergehen will, sobald der Einfallswinkel so groſs wird, daſs der Brechungswinkel gröſser als 90° werden müſste. Ist der Einfallswinkel gerade so groſs, daſs der Brechungswinkel 90° wird, so geht der Lichtstrahl mit verstärkter Intensität längs der Scheidegrenze der brechenden Mittel fort.

Ist Fig. 16[illegible] mn die Scheidegrenze zwischen Lr
meinem Glase, wo das Brechungsverhältniſs ½ beträ
oberhalb mn Luft, unterhalb Glas, und beträgt de
[illegible] des Lichtes gegen die Luftgre
oder des sin. tot, so wird der Brech

dem Halbmesser *bm*, d. h. von *b* aus geht das Licht an der Grenze in der Richtung *bm* fort. In diesem Falle beträgt *y* 41° 48′ 37″; fürs Wasser betrüge dieser Winkel der sogenannten totalen Reflexion aber 48° 27′ 40″. Sobald der Winkel *y* gröfser wird, so erfolgt von *b* aus die Reflexion nach den gewöhnlichen Gesetzen.

Zweiter Versuch. Die totale Reflexion am Glase kann man auf folgende Weise an einem Prisma sichtbar machen. Man überklebt nämlich die beiden den rechten Winkel einschliefsenden Flächen *ab* und *bc* Fig. 167 mit schwarzem Papiere und bringt in einem dieser beiden Belege eine kleine runde Oeffnung an, um einen Lichtstrahl durch diese einfallen zu lassen. Jetzt kann man dem Prisma leicht eine solche Stellung geben, dafs der von *f* kommende Lichtstrahl *fm* die ihm entgegenstehende unbelegte Fläche des Prismas *ac* unter dem Winkel trifft, so dafs derselbe nach der Richtung *mc* gebrochen wird, wo dann ein in *o* befindliches Auge die totale Reflexion wahrnimmt.

Dritter Versuch. Legt man auf den Boden eines nicht zu engen Glasgefäfses eine blanke Münze oder einen anderen glänzenden Gegenstand und gieſst einige Zoll hoch Wasser darüber, so nimmt man die an der inneren Scheidegrenze der Wasserfläche entstehende gewöhnliche Reflexion wahr, wenn man von unten schief gegen dieselbe hinauf sieht.

Vierter Versuch. Legt man ein Prisma auf ein beschriebenes oder bedrucktes Papier und sieht von oben darauf, so erblickt man die Schrift durch das Glas. — Senkt man nun aber das Auge an der einen Seite des Prismas nach und nach tiefer herab, so kommt man zuletzt zu einem Puncte, wo die unter dem Prisma befindliche Schrift völlig verschwindet und die auf dem Papiere liegende Fläche des Prismas wie ein belegter Spiegel erscheint, in welchem sich die seitwärts aufserhalb des Prismas befindlichen Gegenstände mit der gröfsten Deutlichkeit dem Auge als Spiegelbilder zeigen. — Benutzung des Prismas in Folge dieser Wirkung als Spiegel.

6.) **Alles Licht, welches aus irgend einem durchsichtigen Mittel auf ein anderes fällt, geht nie ganz in dieses über, sondern es wird immer ein Theil davon zurückgeworfen, und deshalb giebt es auch keine absolut durchsichtigen Körper. (§. 281.)**

Hierauf beruht das Spiegeln des Wassers und anderer durchsichtiger Flüssigkeiten, so wie auch das Spiegeln unbelegten Glases.

Fünfter Versuch. Man lasse in einem verfinsterten Zimmer einen Sonnenstrahl auf einen Glaswürfel oder auf die Oberfläche von Wasser in einem durchsichtigen Gefäfse fallen. — Es wird sich zeigen, dafs an dem Einfallspuncte des Sonnenstrahls eine Zurückwerfung und Brechung zugleich stattfindet, so wie sie ungefähr die Fig. 168 darstellt.

Aus obigem sechsten Satze ergiebt sich, dafs die Zurückwerfung und Brechung des Lichtes bei jedem Körper in einer gewissen Relation zu einander stehen müssen. Auf theoretischem Wege hat Poisson folgende allgemeine Formeln abgeleitet, die auch mit der Erfahrung in vielen Fällen übereinstimmen. Wenn nämlich durch $\frac{1}{n}$ das Brechungsverhältnifs des durchsichtigen Körperstofles ausgedrückt wird, so verhält sich die Stärke des senkrecht einfallenden Lichtes wie $1 : \frac{(1-n)^2}{(1+n)^2}$, die des in den Körper eingedrungenen gebrochenen Lichtes dagegen beträgt $\frac{(4n)^2}{(1+n)^2}$.

§. 306.

Was die Ursache der Lichtbrechung ist oder diese eigentlich bewirkt, kann, da wir das Wesen des Lichtes noch nicht vollkommen kennen, nur hypothetisch angenommen werden.

Nach der Emanations-Theorie erklärt man die Lichtbrechung aus einer besonderen anziehenden Kraft, welche die verschiedenartigen und verschieden dichten Mittel auf die ankommenden Lichtstrahlen in der Nähe ihrer Scheidegrenze äufsern. Ein stärker brechendes Mittel ist nach dieser Ansicht ein solches, welches eine stärkere Anziehung, ein schwächer brechendes dagegen ein solches, welches eine schwächere Anziehung auf die ankommenden Lichttheilchen äufsert, und dann im ersteren Falle ihre Geschwindigkeit vergröfsert, im zweiten aber verkleinert. — Treffen die Lichtstrahlen das stärker brechende Mittel senkrecht, so bleibt ihre Richtung dieselbe, und nur die Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung wird vergröfsert; treffen sie aber schief gegen das Mittel, so müssen

sie sich dann, der stärkeren Anziehung wegen, die immer senkrecht von der Scheidegrenze aus wirkt, der perpendicularen Richtung, also dem Einfallslothe mehr nähern. Das Gegentheil tritt bei einem schwächer brechenden Mittel ein, weil dann die Anziehung des Mittels, aus dem die Lichtstrahlen kommen, gröſser ist und diese folglich stärker nach jenem hingezogen werden, als nach dem, in welches sie eindringen, d. h. sie müssen sich also von der perpendicularen Richtung oder vom Einfallslothe weiter entfernen.

Mathematisch läſst sich dieſs auf folgende Art erklären. Gesetzt, es sei $sb = bt$ Fig. 169 die Geschwindigkeit und Richtung des Lichtes in dem Mittel, aus welchem es gegen die Scheidegrenze *mn* des zweiten trifft, so kann man sich diese als die Resultirende der beiden Seitenkräfte *bk* und *bh* vorstellen (§. 28). Hat nun das Mittel, in welches das Licht eindringt, eine stärkere Anziehung, so wird die Seitenkraft *bh* gröſser, etwa wie *bo*, wo dann die Resultirende *bc* werden muſs, in welchem Falle also der Lichtstrahl *ab* zum Einfallslothe gebrochen wird; besitzt dagegen das zweite Mittel eine schwächere Anziehung, so wird die Seitenkraft *bh* kleiner, etwa wie *bp*; dann aber ist die Resultirende der beiden Seitenkräfte *bp* und *bk*, *bc'*, woraus sich ergiebt, daſs nun der Lichtstrahl *ab* vom Einfallslothe weiter abgelenkt wird.

Nach der Undulations-Theorie erklärt man sich die Erscheinung der Lichtbrechung aus einer Aenderung in der Geschwindigkeit der Aetherschwingungen in den verschiedenen durchsichtigen Medien, nur gerade entgegengesetzt wie bei der Emanations-Theorie. — Man nimmt nämlich an, daſs der Aether im leeren Raume die freieste Beweglichkeit und gröſste Elasticität besitze; in jedem anderen durchsichtigen Mittel finde beides, durch das Vorhandensein des Körperstoffes, in minderem Grade statt, und zwar wieder in verschiedenen Verhältnissen bei den verschiedenen durchsichtigen Medien. In dem Maſse aber, wie die freie Beweglichkeit und Elasticität des Aethers abnimmt, vermindert sich auch die Geschwindigkeit der

Aetherschwingungen, ungefähr eben so, wie die Schallgeschwindigkeit in weniger elastischen Körpern ebenfalls abnimmt. Von zwei durchsichtigen Mitteln ist nun dasjenige das stärker brechende, in welchem die Schwingungen des Aethers eine kleinere Geschwindigkeit annehmen. Kommt daher eine Lichtwelle an der Scheidegrenze zweier Mittel senkrecht an, so wird dann nicht die Richtung der Bewegung, sondern nur die Geschwindigkeit geändert, und zwar in einem stärker brechenden vermindert, in einem schwächer brechenden vergrösert. Ist dagegen die Richtung der ankommenden Welle schief gegen die Scheidefläche, so dringt der eine Theil derselben früher ein als der andere. Wenn daher in dem zweiten Mittel der Aether weniger elastisch ist, so wird der zuerst eindringende Wellentheil in seiner Geschwindigkeit verzögert, und die Welle wendet sich so, dafs die Richtung ihrer Fortpflanzung sich der Senkrechten gegen die Scheidegrenze nähert. Ist dagegen im zweiten Mittel der Aether elastischer, so wird die Geschwindigkeit des eindringenden Wellentheiles grösser, während die anderen Wellentheile noch mit der früheren Geschwindigkeit fortgehen, und die Welle wendet sich jetzt so, dafs ihre Richtung sich noch mehr von der Senkrechten gegen die Scheidegrenze entfernt.

Um diese nach der Undulations-Theorie gegebenen Erklärungen anschaulich zu machen, denke man sich die Lichtwellen aus einem sehr entfernten Puncte, z. B. aus *a* Fig. 170, kommend, so dafs kleine Theilchen derselben als unmerklich gekrümmte Kreisbögen, mithin als gerade Linien AB, A^1B^1, A^2B^2 vorgestellt werden können. Wir wollen nun die Welle A^1B^1 betrachten. Indem das Theilchen *b* die Scheidegrenze trifft, kann es nicht die vorige Geschwindigkeit behalten. Ist das zweite Mittel, worein es tritt, ein stärker brechendes, so wird seine Geschwindigkeit vermindert, so dafs es in der Zeit, wo es etwa den Weg *bf* machen sollte, nur den kleineren *bt* zurücklegt. Indessen hätte ein anderes Theilchen *p* der Welle A^1B^1, das mit seiner früheren Geschwindigkeit im oberen Mittel fortgeschritten ist, den mit *bf* parallelen und gleichen Weg *pg* voll-

endet. Die Lichtwelle hat mithin, so weit sie in das untere Mittel schon eingedrungen ist, die Lage *etg* erhalten, und was von dieser Welle gilt, läfst sich eben so von allen übrigen nachweisen. Die Richtung des Fortschreitens dieser Welle ist aber eine andere als die Richtung *ab* im oberen Mittel, denn sie ist senkrecht auf *etg*, mithin *bc*, und so ist folglich der Strahl *bc* zum Einfallslothe *be* gebrochen. — Ist das untere Mittel schwächer brechend, so kommt die Lichtwelle in einem elastischeren Aether an, und es wird dann die Geschwindigkeit gröfser. Aus *bf* Fig. 171 wird *bt* und der Weg des Theilchens *b* der Lichtwelle A^1B^1 wird *bt*, während ein anderes Theilchen *p* dieser Welle im oberen Mittel den Weg *pg* zurücklegt. Der in das untere Mittel eingedrungene Theil der Lichtwelle hat in diesem Falle die Lage *etg*, und die Richtung, in welcher nun diese Welle fortschreitet, ist die senkrechte *bc*, so dafs folglich der Lichtstrahl *bc* vom Einfallslothe *be* gebrochen ist.

A. Erscheinungen der Lichtbrechung in Mitteln, welche von ebenen Flächen begrenzt sind.

§. 307.

Lichtstrahlen, welche auf eine ebene brechende Fläche unter sich parallel auffallen, wie *ab*, a^1b^1 Fig. 172, bleiben auch nach der Brechung parallel, nämlich *bc* parallel b^1c^1, weil bei beiden der Brechungswinkel *x* gleiche Gröfse hat. Kommen aber Lichtstrahlen aus einem Puncte, also divergirend auf eine solche Fläche, so werden sie weniger divergent, wenn sie in ein stärker brechendes, mehr divergent aber, wenn sie in ein schwächer brechendes Mittel eindringen, wie aus den ursprünglichen Lichtstrahlen *ab*, ab^1 und den gebrochenen *bc*, b^1c^1 Fig. 173 ersichtlich ist. Im ersteren Falle scheinen sie aus einem entfernteren, im letzteren aus einem näheren Puncte a^1 zu kommen.

Hieraus erklärt sich auch die schon §. 304 erwähnte Erscheinung, dafs alle unter Wasser befindlichen Körper

der Oberfläche desselben näher zu sein scheinen, als sie wirklich sind.

§. 308.

Liegen mehre parallele Schichten eines durchsichtigen Mittels über einander und wächst die lichtbrechende Kraft in jeder unteren Schicht, so wird nur ein von oben senkrecht auffallender Lichtstrahl seine Richtung nicht ändern, ein schief auffallender aber in jeder folgenden Schicht immer mehr zum Einfallslothe gebrochen, so dafs er einen gegen die untere Schicht concav gekrümmten Weg zurücklegt, wie diefs Fig. 174 darstellt. Einem Auge, in welches also der von s ausgegangene Lichtstrahl bei a gelangt, erscheint demnach der leuchtende Punct nicht in s, sondern in s', nämlich in Richtung der Tangente des Punctes a der krummen Linie.

Da nun, wie wir bereits wissen, (§. 203) die Schichten unserer Atmosphäre immer dichter werden, je näher sie der Erdoberfläche liegen, so müssen auch die durch sie in schiefer Richtung zu jener gelangenden Lichtstrahlen einen solchen gekrümmten Weg zurücklegen. Hierauf beruhen die Erscheinungen der astronomischen und irdischen Strahlenbrechung, so wie die sogenannte Luftspiegelung, Kimmung und Fata Morgana.

Die astronomische Strahlenbrechung entsteht durch die von anderen Weltkörpern auf unsere Atmosphäre auffallenden Lichtstrahlen. Sie bewirkt, dafs wir nur solche Sterne an ihrem wahren Orte sehen, welche sich gerade in unserem Zenith befinden, alle anderen aber um so mehr gehoben, je näher sie am Horizonte stehen, ja dafs wir sogar Himmelskörper über dem Horizonte erblicken, die noch unter demselben sind. — Es sei in Fig. 175 der innere Kreis unserer Erde, und die mit ihm concentrischen mögen die Schichten der Atmosphäre vorstellen, deren Dichtheit mit der Entfernung von der Erde abnimmt. Befindet sich nun auf ihrer Oberfläche in B ein Beobachter, so ist für diesen Z der Zenith, HBH der Horizont, und für den Stern S, SBZ dessen wahre Zenithdistanz und SBH dessen Höhe über dem Horizonte. Durch die in den Atmos

schichten erfolgende Refraction der Lichtstrahlen dieses Sternes, wie sie in der Figur die gebrochene Linie SsB andeutet, erscheint aber dieser Stern dem Beobachter B statt in S in S', also dem Zenith näher oder höher über dem Horizonte. Verlängert man die ursprüngliche Richtung des Lichtstrahles Ss, bis sie die Richtung unseres Sehstrahles BS' in n schneidet, so ist dann der Winkel BnD dieser beiden Linien die eigentliche Ablenkung des Sternes oder die Strahlenbrechung des Sternes S für die scheinbare Zenithdistanz ZBS, in welcher ihn der Beobachter von B aus sieht. Man hat Tafeln entworfen, aus welchen man für jede beobachtete Zenithdistanz die Refraction finden kann, die zu dieser die wahre Zenithdistanz angiebt. Je gröfser jene ist, desto gröfser ist auch die Refraction, bis sie endlich für Sterne, die im Horizonte erscheinen, am gröfsten wird, wo sie beinahe 33′ beträgt. Diese Horizontalrefraction erhebt also die Gestirne, wenn sie sich um den Refractionswinkel unter dem Horizonte befinden, bis zu diesem. — Wäre z. B. in A Fig. 175 ein Stern unter dem Horizonte BH des Beobachters in B, wo dieser also, bei der geradlinigen Fortpflanzung der Lichtstrahlen, für ihn noch unsichtbar sein müfste, so wird der von ihm ausgehende Lichtstrahl Aa, sobald er die Atmosphäre in a trifft, dieselbe ebenfalls in einer krummen Linie aB durchlaufen, und dem Beobachter wird daher der Stern in der Richtung der letzten Tangente dieser Curve, d. h. in der Höhe HBA' über dem Horizonte erscheinen. — Eine Folge hiervon ist, dafs uns die Sonne früher auf- und später untergeht, als es ohne diese Refraction geschehen könnte, wodurch die Tage etwas verlängert werden. In unseren Gegenden nimmt auf diese Weise der längste Tag um 8½ Minuten zu, und in den Polargegenden bleibt die Sonne einen ganzen Monat länger über dem Horizont. Ferner erscheinen uns bekanntlich Sonne und Mond bei ihrem Auf- und Untergange an schwülen Sommertagen, wo sich die unteren Luftschichten schnell abkühlen, die oberen aber ihre Temperatur wenig ändern, an den oberen und unteren Rändern abgeplattet zu sein, so dafs der horizontale Durchmesser gröfser als der verticale erscheint. Der Grund hiervon liegt darin, dafs die Brechung mit der Höhe abnimmt, die unteren Lichtstellen also mehr als die oberen gehoben werden.

Da der Refraction nicht blos die Gegenstände des Himmels, die sich aufserhalb der Atmosphäre befinden, sondern auch alle Körper in derselben unterworfen sind, so entsteht hieraus das, was man irdische oder terrestrische Strahlenbrechung genannt hat. Eine Folge derselben ist, dafs uns entfernte Gegenstände, vorzüglich solche, welche den Horizont begrenzen, wie Berge, Bäume, Thurmspitzen etc., höher er-

scheinen, als sie sind, dafs wir oft an jenseitigen Meeresufern befindliche Gegenstände erblicken, die gewöhnlich wegen ihrer grofsen Entfernung und der Krümmung der Meeresoberfläche nicht gesehen werden. Die Differenz dieser scheinbaren und wahren Höhe über dem Horizont oder der Unterschied dieser beiden Höhenwinkel ist die Gröfse der terrestrischen Refraction.

Die astronomische wie die terrestrische Refraction bleibt sich aber nicht ganz gleich, sondern ist, aus nun schon bekannten Gründen, nach der Dichtheit der Atmosphärenschichten veränderlich. Hierdurch werden sowohl astronomische wie terrestrische Höhenmessungen oft sehr erschwert und in ihren Resultaten unzuverlässig.

Mit der Strahlenbrechung der Atmosphäre in enger Beziehung steht auch die merkwürdige Erscheinung der Luftspiegelung. Bei diesem Phänomen erblickt man nämlich entfernte, für gewöhnlich nicht sichtbare Gegenstände in der Luft schwebend, wobei sie dann meist noch unmittelbar unter sich ihr verkehrtes Bild zeigen, gerade so wie wenn sich Gegenstände im Wasser spiegeln, weshalb es auch scheint, als befänden sich die erblickten Dinge wie Inseln im Wasser. Dieses Phänomen zeigt sich besonders über breiten ruhigen Wasserflächen an den Gegenständen der gegenüberliegenden Ufer, so z. B. an dem oldenburgischen Ufer der Nordsee, wo sie Kimmung heifst, vorzüglich häufig aber an der Meerenge von Messina, zwischen Sicilien und der italienischen Küste, wo sie den Namen *Fata Morgana* führt, und eben so hat sie auch *Scoresby* auf seiner Reise an den Küsten Grönlands 1822 oftmals bemerkt. Es zeigen sich solche auch auf weit ausgedehnten Ebenen, auf Steppen und Wüsten, wie sie sich in Asien und Afrika vorfinden, wo namentlich die französische Armee in Unterägypten 1798—1799 oft Gelegenheit fand, dergleichen zu beobachten. Nicht aber zu jeder Zeit bilden sich diese wunderbaren, oft höchst mannigfachen Erscheinungen, sondern gewöhnlich nur an heifsen stillen Tagen gegen Abend, wo es bei ruhiger Luft möglich ist, dafs sich Luftschichten von wesentlich verschiedener Dichte über einander lagern können, weshalb sie auch verschwinden, sobald sich ein Wind erhebt. Man erklärt sich diese Luftbilder theils als Folge der Strahlenbrechung, theils durch eine Zurückwerfung derselben Lichtstrahlen, welche sehr schief gegen eine bedeutend dünnere Luftschicht treffen, als die ist, durch welche sie gingen, nach dem §. 305 angeführten fünften Gesetze der Lichtbrechung. (S. Gehler's phys. Wrtbr. n. A. VIII. 1155 ff. und Marbach's phys. Lex. III. 485.)

Versuch. Eine der Luftspiegelung ganz ähnliche Erscheinung kann man sich künstlich auf folgende Art erzeugen:

CC Fig. 176 ist ein Kasten von Eisenblech, etwa 30 Zoll lang und 6 oder 7 Zoll breit und hoch. Er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und in der Höhe des Auges aufgehängt. Statt dieses Kastens kann man sich auch einer glühend gemachten eisernen Schiene bedienen. — Sieht man über die Oberfläche des erhitzten Körpers nach einem nicht zu entfernten Gegenstande *M*, so erblickt man das directe Bild desselben in der Richtung *PM*, aufserdem aber auch noch ein umgekehrtes in der Richtung PM^1. Dieses zweite Bild entsteht offenbar durch die Reflexion der Lichtstrahlen in *N* von den heifsen und stark verdünnten Luftschichten, welche die Wände des Kastens umgeben, und nicht durch die Reflexion der Wand selbst.

Eine ganz analoge Erscheinung entsteht auch an den Scheidungsflächen verschieden dichter Flüssigkeiten. In ein länglich viereckiges aus geschliffenen Glasplatten zusammengesetztes Gefäfs *abcd* Fig. 177 gieſst man zuerst Wasser, etwa bis zur Höhe *mn*, dann läfst man eine concentrirte Salzlösung, etwa von schwefelsaurem Zink, Glaubersalz oder auch gewöhnlichem Kochsalz, durch einen in eine enge Oeffnung ausgezogenen Glastrichter, dessen Ende bis zum Boden des Gefäfses reicht, behutsam unter das Wasser treten. Hierdurch erhält man eine Flüssigkeit, deren Dichtheit von unten nach oben allmälig abnimmt. Man klebe in *s* ein Streifchen mit einem Worte bedrucktes Papier, so wird ein Auge, welches sich an der gegenüberstehenden Glasplatte in gleicher Höhe mit *s*, etwa in *o*, befindet, das Papierstreifchen und das darauf befindliche Wort mittels des ungebrochenen Strahles *os* aufrecht, dann aber auch noch in einer höheren und dünneren Flüssigkeitsschicht, in Folge des auf sie schief auffallenden Strahles *st* durch dessen Reflexion von ihr, in der Richtung *op* ein zweites Bild dieses Papierchens mit dem Worte, aber verkehrt erblicken.

§. 309.

Wenn ein Lichtstrahl durch ein Mittel geht, welches parallele Oberfläche hat, wie z. B. eine Glastafel, und auf beiden Seiten von einem dünneren gleichartigen Mittel, z. B. Luft, begrenzt wird, so ist die Richtung des einfallenden Lichtstrahls mit der des austretenden parallel, und man erblickt durch ein auf diese Weise begrenztes Mittel jeden Gegenstand in derselben Richtung; denn um eben so viel, als das Licht bei'm Eintritt in's Glas zum Einfallsloth gebrochen wird, um eben

so viel wird es auch wieder beim Austritt aus demselben vom Einfallslothe abgelenkt. Nur dann, wenn der Körper, durch welchen der Lichtstrahl hindurch geht, schon etwas stark ist, und wenn das Licht sehr schief auffällt, entsteht eine bemerkbare Verrückung des Lichtstrahles, durchaus aber keine Veränderung in seiner ursprünglichen Richtung. Die Fig. 178 wird dieſs versinnlichen.

Versuch. Mittels der Sonne läſst sich dieser Weg des Lichtes sichtbar machen, wenn man in einem verfinsterten Zimmer einen Sonnenstrahl schief auf eine hinlänglich starke Glasplatte oder auf eine viereckige mit einer Flüssigkeit gefüllte Glasflasche auffallen läſst. Der Sonnenstrahl beschreibt dann ganz einen solchen Weg, wie ihn Fig. 178 darstellt.

§. 310.

Sind die Flächen des Mittels, durch welches der Lichtstrahl geht, unter irgend einem Winkel gegen einander geneigt, wie dieſs bei einem sogenannten Prisma (einem von drei Seitenflächen begrenzten durchsichtigen Körper) der Fall ist, so geht der Strahl nach dem Durchgange nicht in paralleler Richtung mit dem einfallenden fort, sondern er wird vom Winkelscheitel des Prismas oder von dem sogenannten brechenden Winkel weg, d. h. nach der Seite hin gebrochen, nach welcher sich der brechende Winkel öffnet. Ein Auge, welches diesen Lichtstrahl empfängt, sieht aber dann den leuchtenden Punct, von welchem derselbe ausging, als subjectives Bild nach dem Scheitel des brechenden Winkels hin verrückt.

Der Gang eines durch ein Prisma gebrochenen Lichtstrahles ergiebt sich aus den bekannten Brechungsgesetzen. Der einfachste Fall ist der, wenn der Lichtstrahl senkrecht auffällt, wie z. B. *ab* Fig. 179 die Fläche *AC* des Prismas *ABC* trifft. Dieser Strahl geht dann ungebrochen (nach §. 304) bis zur Fläche *BC*, gegen welche er nun aber unter dem spitzen Winkel bei *c* trifft. Bei'm Austritt in der Luft kann dieser Strahl also nicht in der Richt-

ung *cd* fortgehen, sondern er wird vom Einfallslothe *cm* gebrochen und nimmt nach dem Brechungsverhältnisse der sich begrenzenden Mittel z. B. die Richtung *co* an. Ein in *o* befindliches Auge mufs deshalb den leuchtenden Punct statt in *a* in a^1 erblicken.

Auf dieselbe Weise läfst sich aber auch leicht der Weg voranbestimmen, den ein Lichtstrahl nehmen mufs, wenn er schief auf die Fläche eines Prismas auffällt, sobald man das Brechungsverhältnifs des durchsichtigen Mittels kennt. Wäre daher *ABC* wieder der Querdurchschnitt eines Prismas von gewöhnlichem Glase und *ab* ein schief auf die Fläche *AC* fallender Lichtstrahl, so wird dieser dann schon bei seinem Eintritte in das Prisma und zwar in der Richtung *bc* gebrochen. Diese Richtung findet man, indem man das Einfallsloth *ebm* zieht und aus dem bekannten Einfallswinkel *x* den Brechungswinkel *y*, nach dem zwischen Luft und Glas stattfindenden Brechungsverhältnisse 3 : 2 (§. 305) bestimmt. Der gebrochene Lichtstrahl *bc* tritt bei *c* wieder in die Luft, wo er dann in der Richtung *co* fortgeht. Diese Richtung ergiebt sich eben so, nachdem das Einfallsloth *fcm* gezogen ist, wenn man aus dem ebenfalls bekannten Einfallswinkel *z* den Brechungswinkel *v*, hier aber nach dem zwischen Glas und Luft eintretenden Brechungsverhältnisse 2 : 3 bestimmt.

Versuch. Läfst man in einem verfinsterten Zimmer einen Sonnenstrahl senkrecht, wie *ab* Fig 179 auf die Fläche eines Glasprismas, wozu sich hierbei am besten eine in der Form *ABC* geschliffene hinlänglich starke Glasplatte eignet, fallen, so wird der Sonnenstrahl seinen Weg ganz so nehmen, wie ihn in der Fig. 179 die Linie *aco* bezeichnet. Fällt er schief auf, so wird sein Weg eine solche gebrochene Linie wie *abco* in Fig. 180.

Ist aber *a* ein leuchtender Punct, z. B. die Oeffnung in einem Fensterladen, durch welche ein Sonnenstrahl kommt, oder eine Lichtflamme und befindet sich das Auge auf der anderen Seite des Prismas in *o*, so erblickt es diesen Punct oder die Lichtflamme nach dem brechenden Winkel *C* des Prismas hin verrückt.

Diese Brechung des Lichtes so wie die Ortsveränderung des Gegenstandes ist zugleich mit einer Farbenerscheinung begleitet, wovon aber erst in der Folge gehandelt werden wird.

§. 311.

Hat ein durchsichtiger Körper mehre nach seinem Umfange hin abfallende Flächen, durch welche Lichtstrahlen hindurchgehen, so nimmt jeder derselben nach der Neigung

der Fläche eine andere Richtung an. Ein Auge, in welches diese Lichtstrahlen vereint fallen, erblickt den Gegenstand so oft, als demselben Flächen zugekehrt sind. Dergleichen Gläser nennt man Rauten- oder Polyedergläser.

Es sei Fig. 181 *ABCD* ein solches dreiflächiges Glas, so werden sich die von dem leuchtenden Puncte *d* durch dasselbe gehenden Strahlen *db* nach ihrer Brechung in *a* vereinen, und ein dort befindliches Auge wird *d* dreifach sehen.

Auf einer derartigen Brechung beruhen auch die sogenannten dioptrischen Anamorphosen. Es sind Bilder, die, wenn man sie durch eine Art von Rautenglas betrachtet, dem Auge ganz andere Gegenstände zeigen, als auf dem Bilde dargestellt sind.

B. Erscheinungen der Lichtbrechung in Gläsern mit gekrümmten Oberflächen.

§. 312.

Gläser, bei welchen eine oder beide Oberflächen sphärisch gekrümmt, d. h. Theile einer Kugeloberfläche sind, heißen Linsengläser. Es giebt zwei Hauptarten derselben: erhabene oder Convexlinsen und hohle oder Concavlinsen, Fig. 192. Die Convexlinsen sind entweder auf beiden Seiten convex, I* biconvexe (convex-convexe) Linsen, oder auf der einen Seite convex, auf der anderen eben, II* planconvexe Linsen, oder auf der einen Seite convex, auf der anderen concav, III* concav-convexe Linsen oder Menisken. Die Concavlinsen sind auch entweder IV* biconcave (concav-concave), oder V* planconcave, oder VI* convex-concave mit größerer Concavität.

Die Gläser IV* und VI* heißen auch periskopische Linsen; sobald aber bei ihnen die Krümmungsoberflächen parallel sind, wirken sie wie Plangläser.

Dergleichen Gläser werden gewöhnlich aus weißem Glase oder auch zu manchen Zwecken aus Bergkrystall und Edelsteinen geschliffen. Auch können hohle Gläser, deren Zwischen-

raum mit einer stark brechenden Flüssigkeit angefüllt wird, die Stelle der massiven Gläser vertreten.

Eben so wie bei den sphärischen Spiegeln heifst auch bei den Linsengläsern der Mittelpunkt jeder Krümmungsoberfläche *c* Fig. 183 ein geometrischer Mittelpunct, der Mittelpunct *m* der Glasmasse oder die Mitte des Durchmessers der Linse *pq* der optische Mittelpunct und eine durch diese Mittelpuncte gehende gerade Linie, *cmc*, die Axe der Linse. Wenn die Linsen gut gearbeitet und richtig centrirt sind, so geht die Axe auch durch die Mittelpuncte *n*, *n*, (Scheitelpuncte) der Oberflächen. Alle aus einem geometrischen Mittelpuncte auf seine Krümmungsoberfläche gezogenen Halbmesser, *cn*, *cs*, geben für jeden Einfallspunct eines Lichtstrahls, da sie senkrecht auf der Krümmungsoberfläche stehen, ein Einfallsloth ab. Jeder bei seiner Brechung in der Linse durch ihren optischen Mittelpunct gehende Lichtstrahl, *lmo*, wird ein Hauptstrahl genannt. Die Seite eines Linsenglases, auf welche Lichtstrahlen auffallen, heifst die Vorderfläche, die, aus welcher sie wieder heraustreten, die Hinterfläche derselben.

§. 313.

Denkt man sich bei allen den verschiedenen Linsengläsern in ihren Scheitelpuncten berührende Ebenen, so müssen diese die Axe senkrecht durchschneiden, folglich mit einander parallel sein, während die an irgend zwei anderen Puncten auf einer Seite der Axe an die Oberfläche gelegten Berührungsebenen sich schneiden, und zwar nimmt der Winkel, unter dem diefs geschieht, um so mehr zu, je weiter die Berührungspuncte sich dem Rande der Linse nähern. Alle Linsengläser brechen demnach die Lichtstrahlen so wie Prismen, die durch die beiden Berührungsebenen gebildet werden, welche man sich an dem Einfalls-

und Austrittspunct des Lichtstrahls an die Glasfläche gelegt denkt. Sie sind demnach gleichsam eine Verbindung von unzähligen Prismen mit veränderlichem brechenden Winkel, oder polyedrische Gläser mit unendlich vielen brechenden Flächen. Da nun bei Prismen jeder durch sie gehende Lichtstrahl nach der Seite hin gebrochen wird, nach welcher sich der brechende Winkel öffnet (§. 310), so müssen die Convexlinsen die Lichtstrahlen nach der Axe zu brechen, während die Concavlinsen sie von der Axe ablenken.

§. 314.

Nach der jetzt erklärten allgemeinen Wirksamkeit der Linsengläser läfst sich mit Hilfe der Brechungsgesetze (§. 305) nun auch sehr leicht bestimmen, welchen Weg jeder Lichtstrahl nach seinem Austritte aus dem Glase nehmen mufs.

Convexlinsen brechen nämlich die Lichtstrahlen auf folgende verschiedene Weise:

1.) Ein in der Richtung der Axe auf eine Convexlinse fallender Lichtstrahl geht ungebrochen hindurch, weil er bei'm Ein- und Austritt senkrecht auf der Glasfläche steht. Eben so wird auch jeder bei seiner Brechung durch den optischen Mittelpunct *m* gehende Hauptstrahl *lkmho* Fig. 183 in seiner Richtung nicht verändert, sobald die Dicke des Glases nicht bedeutend ist.

2.) Alle mit der Axe parallel auffallende Lichtstrahlen werden so gebrochen, dafs sie die Axe vor der Hinterfläche der Linse durchschneiden. Fallen diese Strahlen ziemlich nahe bei der Axe ein, wie *fs* Fig. 184, so durchschneiden sie diese nach ihrer Brechung alle in einem Puncte *b*, welches der Brennpunct oder Focus Linse heifst. Der Abstand desselben von

oder auch von dem optischen Mittelpuncte *bm* wird wie bei Hohlspiegeln die Brennweite oder der Focalabstand genannt. Bei biconvexen Gläsern ist sie dem Halbmesser, bei Planconvexlinsen dem Durchmesser der Krümmungsoberfläche gleich.

Praktische Auffindung des Brennpunctes durch Hilfe der Sonnenstrahlen.

Von der Axe entfernter einfallende Lichtstrahlen durchschneiden diese, nach ihrer Brechung, näher an der Glasfläche und sind eben so wie bei den Hohlspiegeln die Ursache zur Entstehung des Brennraumes und der diakaustischen Linie, welche man auch die sphärische oder Kugel-Abweichung nennt. Um diese möglichst aufzuheben, bedeckt man die Ränder der Linsen und einen Theil ihrer Oberfläche mit undurchsichtigen kreisförmigen Ringen, den sogenannten, Blendungen, indem alsdann die Strahlen, welche jetzt nur auf den mittlen kreisförmigen und unbedeckten Theil der Oberfläche, die Oeffnung (Apertur) des Glases fallen, der Axe so nahe liegen, dafs sie sich nach erfolgter Brechung fast genau in einem Puncte durchschneiden.

Erster Versuch. Von dieser gesetzlichen Brechung paralleler Lichtstrahlen kann man sich am deutlichsten auf dieselbe Weise überzeugen, wie es bei dem ersten Versuche §. 298 mit einem Hohlspiegel beschrieben wurde.

Zweiter Versuch. Die diakaustische Linie zeigt sich sehr deutlich, wenn man durch ein mit Wasser gefülltes cylindrisches Glas, welches auf einem Blatte weifsem Papiere steht, Lichtstrahlen fallen läfst.

3.) Alle aus dem Brennpuncte einer Convexlinse kommenden Lichtstrahlen, welche nahe bei der Axe auf die Glasfäche fallen, müssen, nach ihrer Brechung, von der Hinterfläche des Glases parallel mit der Axe fortgehen und können sich folglich nirgends durchscheiden.

Dieser Gang der Lichtstrahlen ergiebt sich ebenfalls aus Fig. 184, indem man diese vom Brennpuncte *b* ausgehend annimmt.

4.) Divergirende Lichtstrahlen, die aus einem Puncte der Axe kommen, der weiter als der Brennpunct von der Linse entfernt ist, z. B. *fs* Fig. 185, werden nach ihrer Brechung convergirend aus der Hinterfläche des Glases

treten. Sie müssen daher auf dieser Seite die Axe in einem Puncte f^1 schneiden, welcher stets weiter als der Brennpunct von der Linse entfernt ist, und zwar um so entfernter, je näher sich der leuchtende Punct beim Brennpuncte befindet.

Die Fig. 185 zeigt diesen Gang der Lichtstrahlen an.

5.) Lichtstrahlen endlich, die aus einem Puncte der Axe zwischen dem Brennpuncte und der Linse kommen, sind noch divergenter als von dem Brennpuncte ausgehende Strahlen. Sie müssen deshalb so gebrochen werden, dafs sie nach ihrem Austritte aus der Hinterfläche des Glases divergirend bleiben.

In Fig. 186 ist der Gang solcher Lichtstrahlen verzeichnet.

§. 315.

Das Bild eines leuchtenden Punctes, dessen Strahlen durch eine Convexlinse gebrochen werden, entsteht da, wo sich diese Strahlen nach erfolgter Brechung durchschneiden. Um den Ort eines solchen Bildes zu finden, darf man daher nur den Durchschnittspunct zweier durch die Linse gegangener Lichtstrahlen suchen. Von den unzähligen Strahlen, die ein leuchtender Punct auf ein solches Glas sendet, sind besonders zwei hierzu am geeignetsten, nämlich ein Hauptstrahl, der, durch den optischen Mittelpunct gehend, bei nicht zu dicken Linsen in seiner früheren Richtung nicht verändert wird, und ein zur Axe der Linse paralleler Strahl, der nach der Brechung durch den Brennpunct geht. Der Durchschnittspunct dieser beiden gebrochenen Lichtstrahlen bestimmt dann die Lage des Bildes gegen die Linse.

Um z. B. die Lage des Bildes von dem leuchtenden Puncte *f* Fig. 187 zu finden, darf man nur den zur Axe parallelen Strahl *fs* ziehen, der nach seiner [illegible]rch den Brennpunct *b* in der Richtung bf^1 fort[illegible]nen zweiten, welcher bei seiner Brec[illegible]durch-

schneidet und mit unveränderter Richtung nach f^1 fortgeht. Der Durchschnittspunct f^1 dieser beiden Strahlen bestimmt die Lage des Bildes vom leuchtenden Puncte f.

Das Bild jedes in der Axe der Linse befindlichen Punctes mufs daher auch in die Axe, jedes aufserhalb derselben liegenden auf ihre entgegengesetzte Seite fallen.

Um daher die Lage des Bildes von einem Gegenstande zu bestimmen, dessen Lichtstrahlen durch eine Convexlinse gebrochen werden, hat man nur nöthig, die Lage seiner Grenzpuncte aufzusuchen.

§. 316.

Convexlinsen zeigen nun, zufolge der im vorigen § erklärten gesetzlichen Brechung der Lichtstrahlen, folgende Erscheinungen:

1.) Alle Gegenstände, die sich vor einer Convexlinse in einer gröfseren Entfernung als die Brennweite befinden, erzeugen vor der Hinterfläche der Linse ein in der Luft schwebendes verkehrtes Bild, ein Luftbild des Gegenstandes.

2.) Ist der Gegenstand sehr entfernt vom Glase, so erscheint das verkehrte Bild ganz klein in der Nähe des Brennpunctes, von der Sonne in diesem selbst.

3.) Nähert sich der Gegenstand dem Brennpuncte, so entfernt sich dessen verkehrtes Luftbild, immer gröfser werdend, von dem Glase.

4.) Befindet sich der Gegenstand in einer Entfernung, die der doppelten Brennweite gleich ist, so zeigt sich auch auf der anderen Seite des Glases sein Luftbild in dieser Entfernung und in der natürlichen Gröfse des Gegenstandes, wie Fig. 188 zeigt.

5.) Rückt der Gegenstand aber dem Brennpuncte noch näher, so entfernt sich das Luftbild noch weiter vom Glase und wird gröfser als der Gegenstand selbst, wie Fig. 189 darstellt.

Diese Luftbilder lassen sich eben so wie bei Hohlspiegeln (§. 300) mittels einer weifsen Fläche auffangen.

Anwendung finden diese Luftbilder bei mehren optischen Instrumenten, z. B. bei der Camera obscura, den zusammengesetzten Mikroskopen, den dioptrischen Fernröhren etc., wie in den §§. 355 bis 360 gezeigt werden wird.

6.) Kommt in den Brennpunct einer Convexlinse ein leuchtender Körper, z. B. die Flamme einer argantischen Lampe oder eine glühende Kohle, so entsteht gar kein Bild davon, sondern das ganze Linsenglas erscheint leuchtend, weil in diesem Falle, nach 3, §. 314 alle durch die Linse gegangenen Lichtstrahlen unter sich mit der Axe parallel fortlaufen.

In Folge dieser Wirkung benutzt man Convexlinsen zur Verstärkung des Lichtes bei Mikroskopen u. dergl.

7.) Befindet sich endlich ein Gegenstand zwischen dem Brennpuncte und der Linse, z. B. in *NS* Fig, 190, so erscheint das Bild desselben vor der Vorderfläche der Linse als sogenanntes geometrisches Bild, aufrecht, vergröfsert und entfernter, und zwar um so mehr, je näher sich der Gegenstand beim Brennpuncte befindet. — Die durch die Linse gebrochenen Lichtstrahlen sind nämlich in diesem Falle, nach §. 314, divergirend, durchschneiden sich mithin vor der Vorderfläche des Glases, weshalb es auch dem Auge erscheint, als kämen sie aus diesen Durchschnittspuncten.

Da hiernach Convexlinsen in ihrer Nähe befindliche Gegenstände vergröfsert darstellen, so nennt man dergleichen Linsen auch Vergröfserungsgläser, und weil sie die Lichtstrahlen aller Gegenstände, die sich weiter von ihnen, als ihr Brennpunct, befinden, nach ihrem Durchgange auf der anderen Seite der Linse vereinigen, Sammel- oder Collectiv-Gläser, und endlich auch noch Brenngläser, weil die in dem Brennpuncte vereinigten Sonnenstrahlen dort eine sehr bedeutende Hitze erzeugen.

Vergleicht man diese jetzt erklärten Erscheinungen mit denen der Hohlspiegel, §. 300, so wird man fi

dafs Convexlinsen durch die Brechung der Lichtstrahlen gerade dieselben Wirkungen hervorbringen, wie jene durch ihre Zurückwerfung.

§. 317.

Durch die Brechung der Lichtstrahlen in Hohl- oder Concav-Linsen entstehen folgende Erscheinungen:

1.) Ein in der Richtung der Axe die Linse treffender Lichtstrahl geht ungebrochen durch diese, und eben so behält auch jeder Hauptstrahl seine vorige Richtung bei (vergl. §. 312 u. Fig. 183).

2.) Alle anderen Lichtstrahlen werden durch die Brechung in ihrer Richtung verändert, und zwar ist dieselbe nach ihrem Durchgange durch die Linse stets divergirender gegen die Axe als vorher, oder die Lichtstrahlen werden durch die Brechung zerstreut.

3.) Der Axe nahe und parallele Lichtstrahlen sind nach ihrer Brechung divergirend und scheinen, rückwärts verlängert, aus dem Brennpuncte der Vorderfläche zu kommen, den man den Zerstreuungspunct oder negativen Brennpunct nennt, wie Fig. 191 zeigt.

4.) Divergirende aus einem Puncte der Axe kommende Strahlen sind nach der Brechung noch mehr divergent und scheinen daher stets aus einem Puncte zu kommen, welcher der Vorderfläche des Glases näher liegt, wie Fig. 192 darstellt, wo die aus b^1 kommenden Lichtstrahlen nach f gebrochen werden und deshalb aus dem Puncte f^1 zu kommen scheinen.

5.) Da Concavlinsen die gebrochenen Lichtstrahlen vor der Hinterfläche des Glases nie vereinen, so erzeugen sie auch keine Luftbilder von Gegenständen, sondern man erblickt diese durch dergleichen Linsen stets als geometrische Bilder vor der Vorderfläche des Glases. Diese Bilder sind

aufrecht, allemal kleiner als der Gegenstand und dem Glase scheinbar näher, als sich dieser befindet. Man sehe Fig. 193. — Von sehr entfernten Gegenständen erscheint das Bild ganz klein und im Zerstreuungspuncte.

Zufolge dieser Erscheinungen nennt man diese Linsen auch Zerstreuungs- oder Verkleinerungs-Gläser.

Vergleicht man diese Erscheinungen mit denen der Convexspiegel (§. 301), so wird man hier ebenfalls finden, dafs Concavlinsen durch die Brechung der Lichtstrahlen ganz übereinstimmende Wirkungen hervorbringen, wie jene durch Reflexion derselben.

Alle die in den vorangehenden §§. nach dem allgemeinen Reflexionsgesetze (§. 305) constructiv abgeleiteten Erscheinungen der Convex- und Concavlinsen lassen sich ebenfalls so, wie dieſs für sphärische Spiegel §. 300 und 301 geschehen, durch Hilfe der Geometrie ableiten und beweisen.

Es stelle nämlich LL Fig. 194 den Durchschnitt einer Convexlinse in der Richtung ihrer Axe DF vor, M sei der Mittelpunct für die Krümmung der Hinterfläche LGL, M' der Mittelpunct für die Krümmung der Vorderfläche LEL derselben.

1.) Ist für einen leuchtenden Punct D in der Axe DB ein schief auffallender Lichtstrahl, CF dieser Strahl, nachdem er durch die Brechung abgelenkt worden, so ist OF die Vereinigungsweite desselben mit der Axe, und wenn die Dicke der Linse unbedeutend ist, so kann dafür auch GF angenommen werden. Der Kürze halber mag nun $MG = r$ der eine, $M'E = r'$ der andere Krümmungshalbmesser, $DE = a$ die Entfernung des Gegenstandes von der Linse, $FG = \alpha$ die Entfernung des durch die Linse erzeugten Bildes desselben, $\angle DBH = e$, $\angle ABC = b'$, $\angle ACB = e'$, $\angle ICF = b'$, $\angle BDM = x$, $\angle CFM' = x'$, $\angle AME = y$, $\angle AM'G = y'$, und das Brechungsverhältnifs zwischen Luft und Glas n heifsen. Demnach ist:

$$\text{sin. } e : \text{sin. } b = n : 1,$$

eben so $\text{sin. } b' : \text{sin. } e' = n : 1,$

also $\text{sin. } e + \text{sin. } b' : \text{sin. } b + \text{sin. } e' = n : 1$, und für den Fall sehr kleiner Winkel gilt auch

$$e + b' : b + e' = n : 1.$$

Nun ist:

$e = x + y'$, $b' = x' + y$, $b + e' = \angle BAM = y + y'$,

also: $x + y' + x' + y : y + y' = n : 1$,

oder $x + x' : y + y' = n - 1 : 1$, woraus

(A) $x + x' = (n-1)\, y + (n-1)\, y'$.

Da nun bei kleinen Winkeln ihre Bögen als gerade, zur Axe DF senkrechte Linien angenommen werden können, so ist:

$$tg.x = \frac{BE}{DE} = \frac{BE}{a}; \; tg.x^1 = \frac{CG}{FG} = \frac{CG}{a}$$

$$tg.y = \frac{CG}{MG} = \frac{CG}{r}; \; tg.y^1 = \frac{BE}{M'E} = \frac{BE}{r^1}.$$

Bei sehr kleinen Winkeln kann man aber auch statt der Tangenten die Winkel selbst setzen, wo dann die Gleichung (A) übergeht in

$$\frac{BE}{a} + \frac{CG}{a} = (n-1)\frac{CG}{r} + (n-1)\frac{BE}{r^1}$$

und bei geringer Dicke der Linsen auch $BE = CG$ annehmen, wo man dann aus voriger Gleichung erhält:

$$\text{I.)} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{a} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r^1}$$

$$\text{oder } \frac{1}{a} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r^1}\right) - \frac{1}{a}.$$

Wird $a = \infty$, d. h. fallen die Lichtstrahlen parallel auf, so wird auch noch

$$\text{I.)} \quad \frac{1}{a} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r^1}$$

$$\text{oder } \frac{1}{p} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r^1}$$

wo p die Brennweite bezeichnet.

Diese beiden Annäherungsgleichungen I. sind für alle Arten von Linsengläsern gültig, nur dafs bei den Concavlinsen r und r^1 stets negativ gesetzt werden müssen. — Ist eine der 5 Grö-ſsen α, a, n, r, r^1 unbekannt, so kann sie aus diesen Formeln gefunden werden.

2.) Es befinde sich der leuchtende Punct N Fig. 195 aufserhalb der Axe As der Linse LL, und es sei seine Lage durch die Abscisse $As = a$ und durch die Ordinate $SN = b$ bestimmt. Bilden dann die von N ausgehenden Lichtstrahlen mit der Axe nur sehr kleine Winkel, so ist ihre Vereinigungsweite n da, wo sich der durch den optischen Mittelpunct A gehende Hauptstrahl NAn und der in E einfallende nach $E'n$ gebrochene durchschneiden. Wird nun seine Abscisse $As = \alpha$ und seine Ordinate $sn = \beta$ gesetzt, so ist durch die Gleichungen:

$$1.) \quad \frac{1}{p} = \frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r^1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

$$2.) \quad \beta = \frac{\alpha}{a} \cdot b.$$

seine Lage genau bestimmt. — Der Beweis dafür ist wörtlich ganz derselbe wie §. 300.

Nach Vorigem ergiebt sich nun:

A. Für biconvexe Linsen, deren Krümmungshalbmesser gleich sind, wo also $r = r^1$ ist

$$\frac{2(n-1)}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

und da für gemeines Glas $n = \frac{3}{2}$ ist:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

1.) Für $a = \infty$, d. h. für einen sehr entfernten Gegenstand, ist

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{\alpha}$$

oder $\alpha = r = p$,

d. h. die Brennweite ist dem Halbmesser gleich.

Das physische Bild des Gegenstandes entsteht im hinteren Brennpuncte, ist verkehrt, und nach der Gleichung $\beta = \frac{\alpha}{a} \cdot b$, hier also $\beta = \frac{\alpha}{\infty} \cdot b$ unendlich verkleinert.

2.) Je kleiner a wird, d. h. je näher der Gegenstand an die Linse gerückt ist, desto kleiner wird $\frac{1}{a}$, also desto gröfser α. Das verkehrte physische Bild entfernt sich demnach vom hinteren Brennpuncte und nimmt zugleich an Gröfse zu.

3.) Wird $a = r$, d. h. befindet sich der Gegenstand im geometrischen Mittelpuncte (dem vorderen Brennpuncte), so wird

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{r} - \frac{1}{r} = 0,$$

also $\alpha = \infty$, d. h. es entsteht kein Bild, indem die Strahlen zur Axe parallel austreten.

4.) Wenn $a < r$, d. h. kommt der Gegenstand zwischen den Brennpunct und die Linse, so ist $\frac{1}{a} > \frac{1}{r}$, also α negativ; dann mufs vor derselben Fläche der Linse ein aufrechtes geometrisches Bild entstehen, und zwar desto entfernter und vergröfserter, je näher der Gegenstand dem Brennpuncte zurückt; d. h.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a} - \frac{1}{\alpha}$$

B. Für biconcave Linsen, bei welchen die Krümmungshalbmesser ebenfalls gleich vorausgesetzt werden, verwandelt sich die Gleichung:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a} - \frac{1}{\alpha} \text{ in } -\frac{1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

1.) Für $a = \infty$ wird $-\frac{1}{r} = \frac{1}{\alpha}$, also $\alpha = -r = -p$; d. h. das Bild zeigt sich mit dem Gegenstande auf derselben Seite des Glases in dessen Brennpuncte oder Zerstreuungspunct als aufrechtes geometrisches Bild.

2.) Je kleiner a wird, desto kleiner wird auch α, immer negativ bleibend, so dafs sich für $a = r$, $\alpha = -\frac{r}{2}$; für $a = \frac{r}{2}$, $\alpha = -\frac{r}{3}$ ergiebt.

Diese Bilder fallen also jedesmal auf dieselbe Seite mit dem Gegenstande, zwischen den Brennpunct und die Linse, und sind aufrecht geometrisch und verkleinert.

C. Für planconvexe Linsen gilt, da $r' = \infty$ ist, die Gleichung

$$\frac{n-1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

und weil für Glas $n = \frac{1}{2}$

so mufs $\frac{1}{2r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$.

1.) Ist $a = \infty$, so wird $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{2r}$, also $\alpha = 2r = p$, d. h.?

2.) Für $a = 2r$ wird $\frac{1}{\alpha} = 0$, also $\alpha = \infty$, d. h.?

3.) Für $a = r$ wird $\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{2r}$, also $\alpha = -2r$ d. h.?

D. Für planconcave Linsen ist die Gleichung

$$-\frac{1}{2r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

woraus sich eben so wie bei C die anderen Werthe für α finden lassen.

Für concav-convexe Linsen kann man die Gleichungen aus den vorigen ableiten, wenn man die Krümmungshalbmesser der Aushöhlung r oder r' negativ setzt.

(Clemens, Grundrifs der Naturlehre II. 1839. Fischer, Lehrb. der mech. Naturlehre II. 1840. Marbach, phys. Lex. III. 379—385; Gehler, phys. Wtrb. n. A. VI. 379—384.)

V. Von der doppelten Brechung des Lichtes oder der doppelten Strahlenbrechung.

§. 318.

Unter der doppelten Strahlenbrechung versteht man die besondere Eigenschaft vieler durchsichtiger Körper, einen durch sie hindurchgehenden Lichtstrahl in zwei Theile zu spalten. Gegenstände, die man durch einen solchen Körper betrachtet, erscheinen dann doppelt.

Aber nicht in allen Richtungen, in welchen ein Lichtstrahl durch dergleichen Körper gehen kann, erfolgt diese doppelte Brechung. Es befinden sich nämlich in solchen Körpern eine oder zwei gerade Linien, nach welchen sich das Gesetz dieses Phänomens bestimmt. Man nennt sie die optischen Axen oder die Axen der doppelten Brechung. Lichtstrahlen, welche mit einer optischen Axe parallel oder rechtwinkelig zu ihr durch die Körper gehen, werden nicht doppelt gebrochen, bei allen anderen Richtungen aber tritt diese doppelte Brechung ein. Uebrigens ist die Gröfse derselben oder das Brechungsverhältnifs zwischen beiden gespaltenen Strahlen bei den verschiedenen Körpern auch verschieden und bei manchen sehr gering.

§. 319.

Der isländische Kalkspath oder sogenannte Doppelspath ist derjenige krystallisirte Körper, von dem diese Eigenschaft am bekanntesten ist, und an welchem die Erscheinung am leichtesten wahrgenommen werden kann, weil alle natürlichen Krystallflächen zur optischen Axe eine solche Lage haben, dafs jeder Lichtstrahl, der durch sie hindurch geht, die doppelte Brechung erleiden mufs.

Die Kerngestalt den Kalkspaths (in der er vorzüglich rein und durchsichtig in Island krystallisirt vorkommt) ist ein Rhomboeder oder ein von sechs verschobenen Recht-

ecken eingeschlossener Körper, Fig. 196. Eine von den stumpfen einander diagonal gegenüber liegenden Körperecken *b* und *h* dieses Krystalls gezogene gerade Linie ist seine optische und zugleich dessen Hauptaxe. Denkt man sich durch diese Linie eine Ebene *bfhd* gelegt, welche die untere und obere Krystallfläche *abcd* und *efgh* senkrecht durchschneidet, so heifst diese der Hauptschnitt. Da aber nach §. 93 jeder vollkommene Krystall als ein Aggregat unendlich vieler der Kerngestalt ähnlicher Massentheilchen betrachtet werden kann, so mufs auch jede mit der Hauptaxe parallele Linie eine optische Axe desselben sein, und eine auf die angegebene Weise durch sie gelegte Ebene kann als ein Hauptschnitt desselben betrachtet werden. Endlich heifsen alle den Krystall begrenzende Flächen, durch welche ein Lichtstrahl hindurch geht, die brechenden Flächen.

Die Erscheinungen der doppelten Strahlenbrechung, welche ein solcher Doppelspathkrystall in Bezug auf seine optische Axe zeigt, sind nun folgende:

1.) Wenn die brechenden Flächen die optische Axe senkrecht durchschneiden, so erscheint der dadurch in senkrechter Richtung gesehene Gegenstand einfach.

Erster Versuch. Um diese Erscheinung zu erhalten, müssen die stumpfen Körperwinkel eines solchen Krystalls so abgeschliffen werden, dafs sie die optische Axe rechtwinkelig durchschneiden; d. h. wenn z. B. *acbd* Fig. 197 der Hauptabschnitt und *ab* die Axe wäre, so würde *mn* und *op* die Lage dieser brechenden Flächen bezeichnen. Jeder auf diese senkrecht auffallende Lichtstrahl, wie z. B. *af*, erleidet keine doppelte Brechung, sondern geht als einfacher Lichtstrahl in der Richtung *fb* hindurch. — Legt man nun eine dieser Flächen über einen auf weifsem Papiere befindlichen schwarzen Punct und betrachtet diesen durch den Krystall so, dafs sich das Auge senkrecht darüber befindet, so sieht man den Punct einfach.

2.) Liegen die brechenden Flächen mit dem Hauptschnitte oder der optischen Axe parallel, so erblickt man

einen in senkrechter Richtung durch diese betrachteten Gegenstand ebenfalls einfach.

Zweiter Versuch. Stellt nämlich *acbd* Fig. 198 den Hauptschnitt des Krystalls vor, so ist *ab* die optische Axe, und die dieser parallelen brechenden Flächen würden z. B. nach den Richtungen *op* und *mn* geschliffen sein müssen. Jeder auf sie senkrecht treffende Lichtstrahl, wie *df*, erleidet dann auch keine doppelte Brechung, sondern setzt, als ein einfacher Lichtstrahl, seinen Weg in der Richtung *fc* fort. — Auch hier wird daher ein auf gleiche Weise wie bei dem ersten Versuche betrachteter Punct einfach erscheinen.

3.) **Wenn die brechenden Flächen keinen rechten Winkel mit der optischen Axe bilden und zu ihr auch nicht parallel liegen, so erscheint ein durch sie gesehener Gegenstand stets doppelt. Dieser Fall tritt ein, wenn ein Lichtstrahl durch die natürlichen Brechungsflächen des Krystalls hindurch geht.**

Ein Theil des Lichtes wird dabei nach den gewöhnlichen Gesetzen, der andere Theil aber nach davon abweichenden gebrochen. Den ersteren Strahl nennt man den gewöhnlich, den letzteren den ungewöhnlich gebrochenen Lichtstrahl.

Dritter Versuch. Läfst man in einem verfinsterten Zimmer einen feinen Sonnenstrahl auf eine der Krystallflächen eines Doppelspaths auffallen, so spaltet sich der Strahl *lm* Fig. 199 bei seinem Eintritt in den Krystall in zwei Strahlen, *mn*, *mp*, welche nach ihrem Austritt in die Luft ihren Weg in paralleler Richtung, *no*, *pq*, fortsetzen.

Stellte auch hier wieder *acbd* den Hauptschnitt des Krystalls und *ab* dessen optische Axe vor, so bilden hier sämmtliche brechende Flächen, *ad*, *ac*, *bc*, *bd*, spitze Winkel mit dieser, und jeder auf sie fallende Lichtstrahl mufs die doppelte Brechung erleiden. Wäre nun z. B. *lm* ein die Krystallfläche *ad* in dem Puncte *m* treffender Lichtstrahl, für welchen *mr* die Axe sein würde, so wird *lm* bei *m* in zwei Strahlen *mn* und *mp* gespalten. Die Linie *mn* ist dann der gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl; seine Richtung bestimmt sich aus dem Brechungsverhältnifs (§. 305) nach den gewöhnlichen Refractionsgesetzen, und er soll durch die auf der Linie befindlichen Puncte bezeichnet werden. Die Linie *mp* wäre dagegen der ungewöhnlich gebrochene Lichtstrahl, welcher sich hier mehr von der Axe entfernt als der gewöhnlich gebrochene, und mag

sich durch auf seiner Richtung befindliche Querstriche von diesem unterscheiden. — Bei'm Kalkspath beträgt der Winkel *nmp*, um welchen beide Strahlen von einander abweichen, sobald der Lichtstrahl senkrecht auffällt, 6° 12′. — An der Austrittsfläche *bc* erleiden beide Lichtstrahlen eine abermalige Brechung, und da die beiden brechenden Krystallflächen, *ad*, *cb* einander parallel sind, so setzen jene ihren Weg parallel zur ursprünglichen Einfallsrichtung *lm*, also auch unter sich selbst gleich laufend nach *no* und *pq* fort.

Vierter Versuch. Legt man einen isländischen Kalkspathkrystall mit seinen natürlichen Krystallflächen über einen auf weifsem Papiere befindlichen schwarzen Punct, so wird man diesen in jeder Lage des Krystalls doppelt sehen.

Beide Puncte liegen, wenn man senkrecht auf den Krystall sieht, in der Diagonale der stumpfen Winkel, oder in der Linie des Hauptschnitts. Der dem spitzen Körperwinkel der oberen Fläche näher liegende Punct ist der durch die ungewöhnliche Brechung entstandene.

Dreht man den Krystall über dem Puncte herum, während man das Auge in unveränderter Lage erhält, so bewegt sich das Bild der ungewöhnlichen Brechung, mit dem Hauptschnitte zugleich, um das der gewöhnlichen Brechung herum. — An dieser Erscheinung kann man jedesmal den ungewöhnlich gebrochenen Lichtstrahl erkennen.

Fünfter Versuch. Bringt man einen solchen Krystall mit der Diagonale seiner stumpfen Winkel über eine gerade Linie, so erblickt man diese einfach, sobald man senkrecht auf den Krystall herabsieht, weil beide Brechungen dann in der Richtung dieser Linie selbst erfolgen. Dreht man den Krystall, so erscheinen dann zwei Linien, die sich immer mehr von einander entfernen, bis die Diagonale die Linie rechtwinkelig durchschneidet, wo dann das ungewöhnlich gebrochene Bild die gröfste Entfernung von dem gewöhnlich gebrochenen hat. Bei fortgesetzter Drehung nähern sich die Bilder einander, und sobald die Diagonale des Hauptschnitts abermals mit der Linie zusammenfällt, bedecken sich abermals beide.

Die Fig. 200 wird die Entstehung der Doppelbilder der vorigen Versuche deutlich machen. Es sei wieder *adbc* der Hauptschnitt und *ab* die Axe eines solchen Krystalls. Unter der Fläche *cb* befinde sich der Punct *p*, den ein Auge, welches sich über der Fläche *ad* befindet, durch den Krystall betrachtet. Ist nun *pm* ein die Fläche *cb* treffender Strahl, so spaltet sich dieser in dem Krystall in den gewöhnlichen Strahl *ml* und den ungewöhnlichen von der Axe *mr* abgelenkten *mf*. Zu ihnen gehören die austretenden Strahlen *lo* und *fi*, die beide mit *pm*, also auch unter sich parallel sind. Es sei ferner *n* ein nahe bei

m gelegener Punct, welcher den Strahl *pn* empfängt. Auch dieser spaltet sich wie der vorige in den gewöhnlichen *nh* und den ungewöhnlichen *ng*, die bei'm Austritt über *ad* in den Richtungen *hk* und *go*, mit *pn* und unter sich parallel werden. Da nun der Winkel, um welchen der ungewöhnlich gebrochene Strahl von dem gewöhnlich gebrochenen abgelenkt wird, schon einige Grade beträgt, so ist leicht einzusehen, dafs, wenn die Puncte *m* und *n* hinreichend nahe sind, der gewöhnliche Strahl *mlo* von dem ungewöhnlichen *ng* irgendwo zwischen *l* und *m*, z. B. bei *x*, geschnitten wird. Weil aber der austretende Strahl *lo* mit *pm* und der austretende *go* mit *pn* parallel ist, so müssen sich auch *lo* und *go* irgendwo über *ad*, nämlich in *o*, schneiden. Empfängt nun ein in *o* befindliches Auge diese beiden Strahlen, so erblickt es den Punct *p* durch die gewöhnliche Brechung in der Richtung *ol* und durch die ungewöhnliche Brechung in der Richtung *og* oder in p^1, also dem spitzen Körperwinkel der Austrittsfläche bei *d* näher liegend. Dreht man den Krystall um den senkrecht durch ihn gehenden gewöhnlichen Lichtstrahl *op*, z. B. von rechts nach links, so mufs sich auch das durch die gewöhnliche Brechung entstandene Bild p^1 in dieser Richtung um *p* bewegen.

Unter den Krystallen, welche das Licht doppelt brechen, giebt es viele, die nur eine Axe der doppelten Brechung haben, wie z. B. der Doppelspath; andere dagegen haben zwei Axen, die verschieden gegen einander geneigt sind. Zu der ersten Klasse gehören, aufser dem Doppelspath, auch noch Bergkrystall, Turmalin, Saphyr, Rubin, Smaragd u. s. w., zu den mit zwei Axen der Arragon, Glimmer, Topas, Gyps, Feldspath, Salpeter u. s. w.

Bei allen Krystallen mit einer Axe, die gewöhnlich mit der Hauptaxe des Krystalls zusammenfällt, befolgt der ungewöhnlich gebrochene Strahl dieselben Gesetze wie beim Kalkspath; nur sind die numerischen Werthe der Brechungsverhältnisse verschieden, und bei den meisten anderen Krystallen, wie z. B beim Bergkrystall, hat die optische Axe eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, wo dann die durch solche parallele Flächen hindurch gehenden Lichtstrahlen keine doppelte Brechung erleiden. Deshalb mufs man erst solchen Krystallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künstliche gegen die Axe geneigte Flächen geben. Es findet bei doppelt brechenden Krystallen auch noch der Unterschied statt, dafs in einigen derselben der ungewöhnlich gebrochene Strahl sich von der Axe mehr entfernt, in anderen sich ihr mehr nähert, als der gewöhnlich gebrochene. Erstere, zu denen z B der Doppelspath und der Bergkrystall gehören, nennt man Krystalle mit repulsiver, letztere, wie unter anderen den Zirkon, Krystalle mit attractiver Axe.

Die Erklärung, welche die Undulations-Theorie für die Erscheinungen der doppelten Strahlenbrechung aufstellt, gründet sich auf die Annahme einer durch die Krystallisationsgesetze bedingten ungleichen Vertheilung des Aethers im Innern derjenigen Krystalle, welche eine Hauptaxe haben (§. 93). Man kann sich vorstellen, dafs die Krystallisationskräfte, deren Wirkung ja überhaupt schon nach der Richtung der Axen verschieden ist, den Aether, von welchem der Krystall durchdrungen wird, so modificiren, dafs diejenigen Schwingungen desselben, welche der Axe parallel sind, eine gröfsere oder geringere Geschwindigkeit erhalten als die, welche senkrecht gegen die Axe erfolgen. Hieraus entsteht eine ungleiche Fortpflanzung der Undulationen und mithin eine Spaltung des Strahles bei dem Eintritt in das neue Mittel, indem diejenigen Schwingungen, welche sich in dem neuen Mittel schneller fortpflanzen, auch ein kleineres Brechungsverhältnifs erhalten, als diejenigen, deren Fortpflanzung in dem neuen Mittel langsamer erfolgt (§. 306). Die Gleichwerthigkeit der Queraxen in dergleichen Krystallen berechtigt zu dem Schlusse, dafs die Schwingungen, welche in Ebenen erfolgen, die zur Axe des Krystalls senkrecht sind, überall mit gleicher Geschwindigkeit hervorgebracht werden. Für diese Schwingungen ist daher das Brechungsgesetz ein constantes, sie bilden den gewöhnlich gebrochenen Strahl, dessen Schwingungen in einer Ebene stattfinden, die senkrecht zum Hauptschnitte ist. Derjenige Antheil der Schwingungen aber, der mit der Axe parallel erfolgt und wegen der abweichenden Fortpflanzungs-Geschwindigkeit einem anderen Brechungsgesetze unterworfen ist, bildet den ungewöhnlich gebrochenen Strahl, und es ist leicht einzusehen, dafs die jedesmalige Richtung desselben von der Lage des einfallenden Strahles gegen die Axe abhängig sein müsse.

VI. Von den Erscheinungen des farbigen Lichtes.

§. 320.

Das Licht ist nicht allein die Ursache der bisher erklärten Erscheinungen, sondern es erregt in uns auch die Empfindung der verschiedenartigen Farben.

Die Hauptlichtquelle für uns Erdbewohner ist, wie auch bereits angeführt wurde, die Sonne. Ihr Licht ist farblos oder weifs, und eben so auch das Licht der meisten übri-

gen Himmelskörper, mit Ausnahme einiger, welche in farbigem Lichte sich zeigen. Das Licht der selbstleuchtenden irdischen Körper, wie die Flamme der verbrennlichen, ist selten ganz farblos oder weifs, meist mehr oder weniger, oft sehr lebhaft gefärbt.

Alles weifse Licht, vorzüglich das der Sonne, besitzt aber die merkwürdige Eigenschaft, durch mancherlei Einwirkungen und Modificationen, vorzüglich durch Brechung und Zurückwerfung, farbig zu werden. Die durch Brechung entstandenen Farben nennt man prismatische Farben, die Farben aber, welche die dunkelen oder nicht leuchtenden Körper zeigen, wenn sie weifses auf sie fallendes Licht zurückwerfen oder durch ihre Materie hindurchlassen, sind die sogenannten Körperfarben.

§. 321.

Die prismatischen Farben entstehen, wenn weifses Licht, vorzüglich Sonnenlicht, durch einen farblosen prismatischen Körper, z. B. durch ein Glasprisma, hindurch gegangen ist. — Es sind sechs für unser Auge deutlich verschiedene Farben, Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett.

Jeder durch ein Prisma hindurch gegangene Sonnenstrahl erleidet nämlich nicht blos die gewöhnliche Brechung (§. 310), d. h. er wird nicht blos von dem brechenden Winkel des Prismas abgelenkt, sondern dabei zugleich in dieser Richtung, und zwar in der Brechungsebene, fächerförmig zerstreut und gefärbt. Man nennt daher auch diese Erscheinung die Farbenzerstreuung (Dispersion) des Lichtes, und das ganze aus den sechs Farben bestehende längliche Bild das Farbenbild oder Spectrum. Dabei folgen die Farben stets in derselben Ordnung, nämlich das Roth ist vom brechenden Winkel des Prismas am wenig-

sten abgelenkt, dann folgt Orange, Gelb, Grün, Blau zuletzt Violett, welches die stärkste Ablenkung zeigt. besitzt demnach das einfarbige Licht eine verschi Brechbarkeit, die vom Rothen bis zum Violetten mälig zunimmt.

Was die Leuchtkraft oder Intensität dieses far Lichtes betrifft, so zeigt sich, dafs diese verschiede Im gelben Lichte ist sie nämlich am stärksten und n nach beiden Grenzen des Farbenspectrums ab.

Erster Versuch. Erzeugung des Farbenspectr durch prismatische Brechung des Sonnenlichte

In ein verfinstertes Zimmer lasse man durch eine Oeff einen Sonnenstrahl *sl* Fig. 201 fallen. Fängt man diesen m nem Prisma *ABC* auf, so zeigen sich folgende Erscheinu

a) Aus dem runden Sonnenbilde des ungebrochenen S les entsteht in der schon bekannten Richtung der Ablen (§. 310) ein gerader Lichtstreif *rv*, den man in der Entfer einiger Fufse vom Prisma mit einer weifsen Fläche auffa kann. — Es wird mithin der Sonnenstrahl nicht allein vo ner früheren Richtung abgelenkt, sondern zugleich fächerfö auseinander gebrochen oder zerstreut.

b) Es zeigt sich dieser Lichtstreif nicht weifs, wie e sprünglich war, sondern farbig, und zwar enthält er die s prismatischen Farben in der bereits angeführten Ordnung dafs das Roth dem brechenden Winkel stets am nächsten, Violett davon am entferntesten liegt, wonach also das Er am wenigsten, das Letztere am stärksten gebrochen wurd

c) Ist die das Spectrum auffangende Fläche nahe hinter Prisma, so erscheint jenes nur an seinen Enden, *r* und *v* färbt, und der zwischen beiden Farben vorhandene Raum b weifs. So wie man die Fläche allmälig entfernt, kommen nach und nach die übrigen Farben zum Vorschein und f den weifsen Zwischenraum aus.

d) Hält man einen Gegenstand in die verschiedenen ben des Spectrums, so erscheint derselbe im gelben Licht hellsten, und nach beiden Grenzen des Farbenlichtes hin ni seine Helligkeit ab. — Daher kann man im gelben Lichte Schrift in einer gröfseren Entfernung lesen, als in den übri

Zweiter Versuch. Subjective Erscheinung prismatischen Farben an leuchtenden Körp wenn man diese durch ein Prisma betrachtet.

Ein leuchtender Punct erscheint dem durch das Prisma sehenden Auge nicht allein, wie schon bekannt (§. 310), aus seiner Lage verrückt, sondern es erblickt ihn als eine in der Richtung der Brechungsebene liegende gerade Linie, zusammengesetzt aus an einander stofsenden prismatischen Farben, und zwar in der umgekehrten Ordnung wie bei'm vorigen Versuche. Violett befindet sich nämlich hier dem brechenden Winkel des Prismas am nächsten, und Roth ist davon am weitesten entfernt. — Dafs die Erscheinung subjectiv so stattfinden mufs, ergiebt sich aus Fig. 202.

Ist es eine weifse Fläche von etwa zwei Zoll Breite, die man auf diese Weise in der Nähe betrachtet, so hat nur ihre obere und untere Grenze farbige Säume, und in der Mitte bleibt sie weifs. Die dem brechenden Winkel nächste Grenze erscheint von aufsen nach innen violett, blau, die andere von aufsen nach innen roth und orange. Entfernt man die Fläche weiter vom Prisma, so werden die farbigen Säume immer breiter; endlich verschwindet das Weifs gänzlich, und die Fläche erscheint als zusammenhängendes Spectrum.

Newton, der Entdecker der Farbenzerstreuung, nahm sieben durch ihre verschiedene Brechbarkeit im Spectrum sich trennende Hauptfarben an, indem er noch Hell- und Dunkelblau unterschied. Betrachtet man das Spectrum genau, so zeigt sich zunächst, dafs die einzelnen Farben nicht scharf begrenzt sind, dafs das Roth mit unmerkbaren Abstufungen in Orange, das Orange in Gelb, das Gelb in Grün, das Grün in Blau und dieses, immer dunkler werdend, zuletzt in Violett übergeht. Hiernach ist zu folgern, dafs die verschiedenfarbigen Lichtsstrahlen in sich eine verschiedene Brechung besitzen müssen, welche allmälig vom rothen zum violetten Lichte zunimmt. Es zeigen aber doch die Farbenstreifen im Spectrum verschiedene Breiten, von denen jede, nach Newton's Untersuchungen, die durch folgende Zahlen ausgedrückte Länge einnimmt, die des ganzen Farbenbildes zur Einheit genommen:

Roth,	Orange,	Gelb,	Grün,	Blau,	Violett,
0,12	0,07	0,13	0,17	0,28	023

und wenn man die Länge des ganzen Farbenbildes in 360 gleiche Theile getheilt annimmt, so kommen auf

Roth,	Orange,	Gelb,	Grün,	Blau,	Violett,
45	27	40	60	108	80
56	27	27	46	95	109

solcher Theile, wovon die ersteren die Verhältnifszahlen nach Newton's, die letzteren aber die nach Fraunhofer's Versuchen darstellen.

Spätere und vollkommenere Versuche von Wollaston und Fraunhofer zeigten in einem reinen Spectrum des Sonnenlichtes, dafs dieses keineswegs aus einer continuirlich in einander greifenden Farbenfläche bestehe, sondern dafs gewisse Unterbrechungen des Zusammenhanges vorhanden sind, die durch dunkle, der Kante des Prismas parallele Linien angedeutet werden. Solche Linien, die man nach ihrem Entdecker die Fraunhofer'schen nennt, lassen sich über 500 auffinden. Ihre Aufeinanderfolge ist ganz unregelmäfsig, sie behaupten aber bei demselben Lichte dieselbe Ordnung, unabhängig von der materiellen Beschaffenheit des Prismas und der Gröfse des brechenden Winkels, sind aber bei verschiedenen Lichtquellen verschieden. So fand man, dafs das Spectrum der Fixsterne, der Weingeistflamme, des glühenden Kalks, des brennenden Schwefels, des Kerzenlichtes u. s. w. diese Linien in ganz anderer Stellung und in verschiedener Zahl zeigt, und dafs oft auch ganze Farbenpartieen verschwinden, so dafs demnach jeder leuchtende Körper sein eigenes Lichtsystem hat. Diese dunkeln Linien in dem Farbenspectrum dienten Fraunhofer zur genauen Bestimmung der Brechung, der Breite einzelner Farben und des verschiedenen Lichtzerstreuungsvermögens verschiedener Körper. Aus anderweiten Versuchen hat sich auch noch ergeben, dafs das Zerstreuungsvermögen der durchsichtigen Materien ebenfalls nicht gleich ist, wonach auch die verschiedenen Glassorten ein ungleiches Farbenzerstreuungsvermögen besitzen. So erhält das gewöhnliche Glas durch einen Zusatz von Blei ein bedeutend gröfseres Zerstreuungsvermögen.

In Fig. 203 ist das von Fraunhofer mit einem Flintglasprisma beobachtete Sonnenspectrum mit Auslassung einiger hundert Linien dargestellt. Die senkrechten Linien in der darüber stehenden Figur, welche von der Linie *ab* bis an die krumme Linie *acdefghib* gezogen sind, drücken nach Fraunhofer's Messung das Verhältnifs der Intensität des Lichtes der einzelnen darunter befindlichen Stellen des Farbenspectrums aus. Im numerischen Verhältnifs beträgt äufserstes Roth 32, Mitte desselben 94, Orange 640, zwischen Gelb und Orange 1000, Grün 480, Lichtblau 170, Dunkelblau 31, Violett 5,6, woraus sich die Construction dieser Intensitätscurve, wie sie Fig. 203 darstellt, ergiebt.

Auf der prismatischen Brechung des Sonnenlichtes beruht auch das Farbenspiel der Brillanten, so wie anderer geschliffener Steine und Gläser, desgleichen auch das Farbenspiel der Thautropfen und die Erscheinung des Regenbogens, der bekanntlich bald einfach, bald doppelt erscheint. Der Hauptregenbogen zeigt die prismatischen Farben in der Ordnung, dafs Violett nach innen, Roth nach aufsen kommt, der zweite oder

Nebenregenbogen aber zeigt diese Farben nicht allein schwächer, sondern auch in umgekehrter Ordnung. Die Entstehung des Hauptregenbogens erklärt man sich folgendermafsen: Ist T Fig. 204 ein Regentropfen, ab ein darauf fallender Lichtstrahl, so erleidet dieser bei b die Brechung bc, und in c die Zurückwerfung cd, so wie bei'm Austrittspuncte d eine abermalige Brechung und zugleich die prismatische Farbenzerstreuung, wobei der rothe Strahl, als der am wenigsten brechbare, den untersten Weg dr, der violette aber, als der am stärksten gebrochene, den obersten Weg dv annimmt. — In Fig. 206 möge man T denselben Tropfen und in einer gewissen Entfernung unter diesem T^1 einen anderen Tropfen vorstellen. In diesem wird dieselbe Brechung und Farbenzerstreuung vor sich gehen, und in irgend einem Puncte o trifft der rothe Strahl des oberen Tropfens mit dem violetten des unteren zusammen. Befindet sich dann in o ein Auge, so wird es aus dem oberen Tropfen rothes Licht, aus dem unteren violettes, und aus den zwischen T und T^1 befindlichen die übrigen farbigen Strahlen erhalten, folglich zwischen d und d^1 ein prismatisches Bild erblicken. Es sei ferner su eine Linie, welche von der Mitte der Sonne, durch das Auge o, parallel mit dem auffallenden Sonnenlichte ab, gedacht wird. Denkt man sich jetzt die Winkel dou und d^1ou um ou als Axe gedreht, so beschreiben die Tropfen T und T^1 einen Ring, innerhalb dessen sich die prismatischen Farben nach der angegebenen Ordnung befinden müssen, und der gewissermafsen den Fufs eines Kegels bildet, in dessen Spitze o sich das Auge befindet.

Den Nebenregenbogen sucht man sich aus einer doppelten Brechung und Zurückwerfung des Sonnenlichtes zu erklären. Wenn nämlich Fig. 205 T^2 ebenfalls einen Regentropfen, und a^2b^2 einen darauf fallenden Sonnenstrahl darstellt, so erleidet dieser in b^2 die erste Brechung, in c^2 die erste und in f^2 die zweite Zurückwerfung, endlich in d^2 die zweite Brechung und zugleich Farbenzertreuung, aber in der umgekehrten Ordnung, wie bei Fig. 204, nämlich den untersten Weg nimmt hier, als der am stärksten gebrochene Lichttheil, der violette Strahl d^2v^2 und den obersten, als der am schwächsten gebrochene, der rothe Strahl d^2r^2 ein. Dasselbe gilt auch in Fig. 206 von den Tropfen T^2 und T^3. Ist nun in o, wo sich d^2v^2 und d^3r^3 schneiden, ein Auge o, so sieht es in dem Tropfen T^2 die violette, in dem Tropfen T^3 die rothe und in dem zwischen T^2 und T^3 befindlichen die übrigen Farbenstrahlen, folglich zwischen d^2 und d^3 ein prismatisches Farbenbild, dessen unteres Ende roth, das obere aber violett ist. Aus dem schon von dem Hauptregenbogen Angeführten ergiebt sich nun auch, wie die Erscheinung des ganzen Nebenregenbogens entsteht.

Von der Höhe der Sonne über dem Horizonte hängt es übrigens ab, ob ein Regenbogen überhaupt sichtbar wird, und welchen Theil des Kreises man sehen kann. Nach genauen Beobachtungen beträgt nämlich der Winkel *dou* Fig. 206, den bei'm Hauptregenbogen die rothen Strahlen mit der Axe *ou* oder mit den zu ihr parallelen Sonnenstrahlen bilden, 42°, der Winkel d^1ou der violetten Strahlen $40\frac{1}{4}°$, bei'm Nebenregenbogen der Winkel d^1ou der rothen Strahlen 51° und der Winkel d^2ou der violetten Strahlen 54°. Steht die Sonne im Horizonte, so sieht man beide Regenbogen als Halbkreise; steht sie über dem Horizonte, so ist ein kleinerer Theil sichtbar; bei 42° Höhe der Sonne über dem Horizonte verschwindet der Hauptregenbogen und bei 54° der Nebenregenbogen. Einen gröfseren Theil, als den halben Kreis, kann man nur dann sehen, wenn die Sonne tiefer steht, als der Beobachter, wenn dieser sich z. B. auf einem hohen Berge befindet, so wie man auch den ganzen Kreis eines Regenbogens in der Tropfenwand eines Wasserfalles unter den angeführten Umständen erblicken kann. — Aufserdem ist aber auch aus dem hierüber Gesagten klar, dafs jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen sieht, d. h. dafs für jeden Beobachter diese Erscheinung durch andere Tropfen bewirkt wird.

§. 322.

Läfst man die einzelnen prismatischen Farben nochmals durch ein Prisma gehen, so werden sie zwar abermals gebrochen, und zwar jede Lichtgattung in verschiedener Stärke, vom Roth zum Violett zunehmend, aber nicht zerstreut, und ihre Farbe bleibt unverändert. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch, wenn man einen einfach farbigen Lichtpunct durch ein Prisma betrachtet.

Hieraus hat man nachstehende Folgerungen gezogen:

1.) Jede einzelne Farbe des Sonnenspectrums enthält einfaches Licht, von welchem jedes einen anderen Brechungswinkel oder eine andere Brechbarkeit besitzt.

2.) Das Sonnenlicht oder überhaupt alles weifse Licht ist nicht einfach, sondern aus sehr verschiedenen prismatischen Farbenstrahlen zusammengesetzt.

Erster Versuch. Man lasse durch eine kleine Oeffnung des Schirmes, mit welchem man das ganze Spectrum aufge-

fangen hat, nur eine Farbe desselben auf ein Prisma fallen — der Lichtstrahl wird nach den Gesetzen der Brechung abgelenkt, aber nicht zerstreut, d. h. es entsteht kein langes Farbenbild, und die Farbe bleibt unverändert.

Ferner wird man bei'm rothen Lichtstrahle die kleinste, bei'm orangen eine stärkere und sofort bis zum violetten Lichtstrahl zunehmende Brechbarkeit wahrnehmen.

Zweiter Versuch. Durch drei nahe neben einander in horizontaler Linie befindliche kleine Oeffnungen lasse man in ein verfinstertes Zimmer Tages- oder Sonnenlicht fallen. Vor die eine Oeffnung bringe man eine rein rothe Flüssigkeit (Lackmustinctur), vor die andere eine blaue (Kupferamoniakauflösung) in Glasgefäfse oder Glasflaschen mit parallelen Wänden, und betrachte diese drei Lichtöffnungen durch den brechenden Winkel eines horizontal gehaltenen Prismas. — Die Oeffnung, durch welche das weifse Licht einfällt, wird als eine Linie des Farbenspectrums erscheinen. Neben dem Roth dieses Farbenbildes erblickt man die Oeffnung, durch welche nur rothes Licht, und eben so neben dem Blau desselben die Oeffnung, durch welche nur blaues Licht hindurchgegangen ist, und zwar in ungeänderter Form, aber in verschiedener Höhe.

Dritter Versuch. Legt man auf eine weifse Fläche ein kleines rothes und blaues Quadrat (die Farben müssen möglichst rein sein) *R* und *B* Fig. 207 und betrachtet sie durch ein Prisma, dessen brechender Winkel nach unten gekehrt ist, so erscheinen die beiden Quadrate nicht mehr neben einander, sondern das blaue liegt tiefer als das rothe.

§. 323.

Wenn alle durch die Zerstreuung eines Sonnenstrahles erhaltenen farbigen Strahlen vereinigt werden, so entsteht wieder weifses Licht. — Diefs bestätigen folgende Versuche:

Erster Versuch. Man lasse das Farbenspectrum eines Prismas auf eine Convexlinse fallen. Durch diese werden die von dem Prisma zerstreuten Farbenstrahlen hinter der Linse im Brennpuncte vereinigt, wo sie sich durchkreuzen und von wo sie wieder divergirend fortgehen. — Fängt man das Farbenbild in dem Vereinigungspuncte hinter der Linse mit einer weifsen Fläche auf, so erscheint daselbst ein weifses rundes Sonnenbild. Entfernt man aber die Fläche weiter von der Linse, so bildet sich wieder ein dem ersten gleiches Spectrum, nur mit umgekehrter Farbenlage.

Zweiter Versuch. Betrachtet man das durch ein Prisma gebildete Spectrum durch ein zweites dem ersten gleiches Prisma, dessen Lage diesem parallel ist, so werden die Farbenstrahlen in entgegengesetzter Richtung durch dieses zweite Prisma gehen. — Diese Strahlen müssen also bei ihrem Austritte aus dem zweiten Prisma wieder parallel sein, wodurch also Zerstreuung und Färbung aufgehoben wird, und das Auge erblickt an der Stelle des Farbenspectrums ein weifses Sonnenbild.

Dritter Versuch. Subjectiv läfst sich die Entstehung weifsen Lichtes aus den prismatischen Hauptfarben auf folgende Art nachweisen: Auf eine schwarze Fläche lege man zwei ungefähr 2 Zoll breite Streifen weifses Papier, so dafs ihre Seiten parallel zu dem brechenden Winkel des horizontal gehaltenen Prismas liegen und unter sich einen Abstand von 1—1½ Zoll behalten. Die obere Seite des dem Prisma zunächst liegenden Papierstreifs wird dann einen gelben, orangen und rothen, die untere Seite des entfernter liegenden einen grünen, blauen und violetten Saum zeigen. — Nähert man den einen Streifen dem anderen in paralleler Richtung, so bedecken sich nach und nach die Hälften des prismatischen Farbenbildes, beide Farbensäume ändern ihre Farben, sie werden allmälig schmäler und blässer und verschwinden endlich ganz, sobald sich beide Kanten der Papierstreifen völlig berühren.

Eben so erhält man auch wieder weifses Licht, wenn man nur die drei prismatischen Farben, Roth, Gelb und Blau, vereinigt. Geschieht dieſs aber blos mit zweien dieser Farben, so entstehen daraus die übigen drei Farben des Spectrums.

Vierter Versuch. Man lasse durch drei Oeffnungen in einem Schirme, auf welchen das Spectrum gefallen ist, einen rothen, gelben und blauen Strahl hindurch gehen. — Fängt man diese drei Lichtstrahlen mit einer Convexlinse auf, so erscheint in ihrem Vereinigungspuncte hinter der Linse weifses Licht.

Fünfter Versuch. Läfst man einen rothen und gelben Strahl durch den Schirm und vereinigt beide mittels der Linse, so entsteht in dem Vereinigungspuncte oranges Licht; durch einen gelben und blauen Strahl bildet sich grünes und durch einen blauen und rothen Strahl violettes Licht.

Die drei Farben Roth, Gelb und Blau werden deshalb auch primäre oder Grundfarben, die anderen drei: Orange, Grün und Violett, aber secundäre oder gemischte Farben genannt.

Brewster und mit diesem auch mehrere andere Naturforscher sind daher der Meinung, das weifse Sonnenlicht sei nur aus diesen drei Grundfarben zusammengesetzt, die anderen drei aber entständen durch die Vermischung von diesen. — Der erstgenannte Naturforscher giebt hierzu folgende Erklärung: Das prismatische Spectrum entsteht aus drei Farbenbildern, nämlich aus einem rothen, gelben und blauen, von welchen jedes sich über die ganze Länge des prismatischen Farbenstreifens, jedoch in ungleicher Intensität, erstreckt. Die rothe Grundfarbe hat die gröfste Intensität gegen die Mitte des Roth im prismatischen Farbenbilde, wie die Intensitätscurve des rothen Lichtes bei *R* Fig. 208 ausdrückt, eben so die gelbe in der Mitte des Gelb bei *G*, und die blaue in der Mitte des Blau bei *B*. Die schwächsten Stellen jedes der drei Grundfarbenbilder liegen an den beiden Enden des Sonnenspectrums. — Hieraus folgt nun:

1.) In jedem Puncte des prismatischen Spectrums sind Roth, Gelb und Blau vorhanden, aber in verschiedener Intensität und Menge.

2.) Da das weifse Licht aus einer gewissen Menge Roth, Gelb und Blau besteht, so kann man sich die Farbe jeder Stelle im Farbenbilde als eine Mischung der daselbst vorherrschenden Farbe mit dem weifsen Lichte ansehen. Innerhalb des Raumes, welcher im Spectrum roth erscheint, ist sonach mehr Roth vorhanden, als nöthig ist, um mit dem wenigen hier befindlichen Gelb und Blau blos Weifs zu geben. Ganz analog verhält sich diefs innerhalb des gelben und blauen Streifens im Spectrum mit dem gelben und blauen Lichte. In dem orangen Felde aber ist ein Ueberschufs an Roth und Gelb, in dem grünen ein solcher von Gelb und Blau, und in dem violetten einer von Blau und Roth vorhanden, wie es auch ungefähr die Intensitätscurven dieser drei Farben in der Fig. 208 ausdrücken. — Gesetzt nun, es erzeugten drei Theile Gelb, zwei Theile Roth und ein Theil Blau weifses Licht in der Mitte des rothes Feldes, und wären drei Theile Gelb, sechs Theile Roth und ein Theil Blau vorhanden, so würden dann drei Theile Roth übrig bleiben, welche das aus den übrigen Farbentheilen entstandene Weifs intensiv roth erscheinen liefsen. Innerhalb des orangen Streifens aber möge die Menge des vorhandenen rothen Lichtes gleich 4, die des gelben gleich 5 und die des blauen wieder gleich 1 sein, so würden nach obiger Voraussetzung hier zwei Theile rothes und zwei Theile gelbes Licht übrig bleiben, welche sich zu Orange mischten. Durch ähnliche Zusammenstellungen läfst sich auch die Entstehung der übrigen Farben des Spectrums ableiten.

Zu jeder der sechs prismatischen Farben gehört eine der übrigen, mit der sie vereint weifses Licht erzeugt. Diese zur Erzeugung des weifsen Lichtes einer prismatischen Farbe fehlende heifst ihre complementäre oder Ergänzungs-Farbe. Zu einer der drei Grundfarben ist es daher stets die aus den beiden anderen gemischte Farbe, und zu jeder von diesen ist es die fehlende dritte Grundfarbe.

Am einfachsten veranschaulicht diefs die Fig. 209. Die drei sich in ihren Mittelpuncten durchschneidenden Kreisflächen enthalten die drei Grundfarben, Roth, Gelb und Blau. Die wo sich je zwei dieser Kreisflächen bedecken, entstehen die gemischten Farben, Orange, Grün und Violett. In der Mitte, wo sich alle drei Grundfarben vereinigen, ist Weifs. Die Complementärfarben zum weifsen Lichte stehen sich in der Figur einander gegenüber, zwischen sich, als Symbol der Vereinigung, das weifse Licht einschliefsend.

§. 324.

Betrachtet man die Gestalt des Durchschnitts einer Linsenglases, so wird man finden, dafs die Convexlinse nahe die Gestalt zweier mit ihren Grundflächen auf einander stehender Prismen Fig. 213 A, und die Concavlinse die zweier mit ihren brechenden Winkeln gegen einander gekehrten Fig. 213 B besitzt, dafs aber bei beiden der brechende Winkel nach dem Rande der Linse hin immer gröfser wird.

Lichtstrahlen, welche daher durch solche Gläser gehen müssen deshalb aufser der Brechung auch noch eine Farbenzerstreuung erleiden, welche um so gröfser wird, je mehr sich die Lichtstrahlen dem Rande der Linse nähern. Eine Folge hiervon ist, dafs durch sie betrachtete Gegenstände und eben so die von ihnen erzeugten Luftbilder farbige Ränder haben, wodurch jene an Deutlichkeit noch mehr, als durch die Abweichung der Lichtstrahlen wegen der Kugelgestalt (§. 314) verlieren. — Die bei Linsen

gläsern durch diese farbigen Säume entstehende Undeutlichkeit nennt man die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung oder die chromatieche Abweichung. Sie ist vorzüglich bei den Convexlinsen nachtheilig wirkend, welche bei Fernröhren als Objectivgläser zur Erzeugung der Luftbilder verwendet werden (s. §. 360).

Um diese Erscheinung aus dem Gange der Lichtstrahlen noch mehr zu versinnlichen, möge die Fig. 214 dienen. — *S* sei ein leuchtender Punct; jeder Strahl des von ihm auf die Linse fallenden Lichtkegels *ASB* wird also nicht nur gebrochen, sondern auch in farbige Strahlen zerlegt. Die brechbarsten, die violetten, vereinigen sich näher am Glase in *v*, die rothen entfernter in *r*. Zwischen *v* und *r*, wo sich die meisten Lichtstrahlen vereinen, bildet sich ein Kreis vom Durchmesser *mn* statt eines Punctes, den man den Abweichungskreis nennt.

Erster Versuch. Fängt man die durch eine Convexlinse gegangenen Lichtstrahlen vor ihrem Vereinigungspuncte mit einem weifsen Papiere *TT* Fig. 214 auf, so zeigt sich ein kreisförmiger Durchschnitt, der in der Mitte weifs ist und von einem gelben Rande umgeben wird, welcher nach aufsen hin in Roth übergeht. — Bei dieser Lage des Papiers sind nämlich die rothen Strahlen die äufsersten, welche das Bild begrenzen.

Stellt man dagegen das Papier über dem Vereinigungspuncte der Lichtstrahlen, z. B. in $T^1 T^1$, auf, so ist der sich bildende äufsere Kreis violett, nach der ebenfalls weifsen Mitte zu in Blau übergehend. — In dieser Lage wird nämlich, wie auch aus der Fig. 214 ersichtlich ist, die äufserste Peripherie des Kreisbildes von den violetten Strahlen begrenzt.

Zweiter Versuch. Um die im vorigen Versuche erwähnten farbigen Ringe recht lebhaft und ohne die innere weifse Kreisfläche zu erhalten, schneide man in dünner Pappe oder Blech eine ringförmige Oeffnung aus, wie sie Fig. 215 darstellt, deren Durchmesser etwas weniges gröfser als der des Abweichungskreises der Linse *mn* Fig. 214 ist. Hält man diesen Schirm in den Brennpunct, so dafs der Abweichungskreis gerade auf die die ringförmige Oeffnung innerlich begrenzende Kreisfläche fällt, so fängt diese alles Licht auf, wo dann auch durch jene Oeffnung keine Lichtstrahlen gehen können. Nähert man aber den Schirm in der Richtung der Axe der Linse, so wird man hinter ihm erst einen lebhaft rothen, dann einen gelben und zuletzt einen weifsen Ring auf einer hinter dem Schirme befindlichen weifsen Fläche erhalten; entfernt man ihn aber auf

§. 327.

Ganz auf denselben Grundsätzen wie bei den Prismen beruht auch die Erreichung des Achromatismus bei den Linsengläsern. Sie werden nämlich eben so wie diese aus Crown- und Flintglas zusammengesetzt und zwar jetzt gewöhnlich aus einer Convexlinse von Crownglas und einer Concavlinse von Flintglas, wie Fig. 217 im Durchschnitt darstellt, von welchen die Krümmungen so beschaffen sein müssen, dafs sich die brechenden Winkel y und x umgekehrt wie das Farbenzerstreuungsvermögen verhalten. Dergleichen Linsen wirken dann immer noch als Convexlinsen, aber die Farbenzerstreuung fällt bei ihnen, wie bei den vorherbeschriebenen Prismen weg, wodurch die von denselben erzeugten Luftbilder vollkommen deutlich und ohne farbige Ränder erscheinen.

Newton hielt die Achromasie für unmöglich, Euler folgerte ihre Ausführbarkeit aus dem Baue des Auges, und Dollond führte zuerst (1757) achromatische Prismen und Linsen aus, die in neuerer Zeit hauptsächlich von Fraunhofer in einem hohen Grade von Vollkommenheit verfertigt worden sind.

§. 328.

Die Farben, in welchen uns die nicht leuchtenden Körper erscheinen, die sogenannten Körperfarben, sind ihnen nicht eigenthümlich, sondern entstehen aus dem auf sie fallenden oder durch sie hindurchgehenden weifsen Lichte, theils durch Absorption, theils durch Zerlegung desselben.

Bei den undurchsichtigen Körpern sind sie eine Folge des von ihnen wieder zurückgeworfenen, aber veränderten weifsen Lichtes. Körper, die das weifse Licht ganz unverändert zurückstrahlen, erscheinen uns weifs, die, welche fast das ganze Licht verschlucken, zeigen sich schwarz, und solche, von deren Oberfläche das weifse Licht nur zum

Theil wieder zurückgeworfen wird, erzeugen die verschiedenen Abstufungen des Weiſs und Schwarz oder die mannichfachen Nuancen von Grau. Solche Körper aber, die das auf sie gefallene weiſse Licht zerlegen und davon einen Theil absorbiren oder zurückhalten, erscheinen uns farbig, und zwar in derjenigen Farbe, welche der Vereinigung der zurückgeworfenen Farbenstrahlen entspricht; rothe Körper reflectiren daher nur die rothen, blaue nur die blauen Lichtstrahlen u. s. w. Körper, die mehre der farbigen Lichtstrahlen zurückwerfen, haben dann gemischte Farben, und dadurch, daſs von manchen Puncten weiſses, von anderen gar kein Licht reflectirt wird, entstehen aus diesen Gemengen die unendlich verschiedenen Farbennuancen.

Daſs diese Körperfarben erst aus dem weiſsen Lichte entspringen und nicht den Körpern selbst eigen sind, ergiebt sich daraus, daſs im einfachen, nicht zerlegbaren Lichte, wie im Sonnenspectrum, nicht nur die weiſsen Körper, sondern auch die farbigen in dem Lichte erscheinen, von welchem sie getroffen werden, und zwar zeigen sie sich in dem Lichte am lebhaftesten gefärbt, welches sie eigentlich nur reflectiren, während die anderen Farben von ihnen mehr oder weniger absorbirt werden, wodurch dann die reine Farbe vom Schwarz mehr oder weniger gedunkelt erscheint.

Beweise hierzu liefern farbige Körper, welche man in die verschiedenen Farben des prismatischen Farbenbildes hält. — Gelbe Färbung der Körper in dem durch Kochsalz erzeugten homogenen gelben Lichte einer Spiritusflamme. — Färbung der Gegenstände eines Zimmers, in welches das Tageslicht durch farbige Gläser oder Gardinen fällt. — Die Flammen unserer künstlichen Beleuchtungsmittel verbreiten ein mehr oder weniger gelbes, selbst in's Orange übergehendes Licht, wovon man sich am deutlichsten überzeugt, wenn man sie beim Tageslichte betrachtet. Daher kommt es auch, daſs man die Körperfarben, namentlich Blau und Grün, bei künstlicher Beleuchtung nicht deutlich sehen oder unterscheiden kann.

Die durchsichtigen Körper bieten ähnliche Erscheinungen dar. Sie erscheinen entweder farblos, wenn sie das weifse Licht unverändert durchlassen, oder farbig, wenn sie es zerlegen. Im letzteren Falle werfen sie entweder dasselbe Licht zurück, welches sie durchlassen, oder das durchgelassene Licht zeigt eine andere Farbe, als das reflectirte.

Als Belege hierzu dienen die verschiedenen farbigen Gläser und manche tropfbare Flüssigkeiten. — So reflectirt der sogenannte Schillerstoff oder das Polychrom blaues Licht, während diese Flüssigkeit beim Hindurchsehen eine orange Färbung zeigt. (Hauslexikon VII. 68); Lackmusauflöfung reflectirt blaues Licht und läfst rothes durchgehen; eine Auflöfung von Chromalaun erscheint im reflectirten Lichte grün, im durchgehenden aber purpurroth. — Das Blau der Luft im reflectirten Lichte und die Abend- und Morgenröthe beim durchgegangenen Lichte. — Durch dichte Nebel erscheint uns die Sonne weifs wie der Mond. — Rauch, von der Sonne beschienen, erscheint bläulich, die Sonne, durch Rauch gesehen, röthlich.

§. 329.

Farbestoffe, Pigmente, sind solche Materien, welche die Oberfläche der Körper, auf die sie aufgetragen werden, dergestalt umändern, dafs sie dann nur die dem Farbestoffe eigene Farbe im weifsen Lichte zurückstrahlen. Die Grundfarben, aus deren Vermischung die unendliche Mannigfaltigkeit der Farbentöne entsteht, sind: Weifs, Roth, Gelb, Blau und Schwarz.

Eben so entstehen auch aus den reflectirten einfachen Körperfarben, wie bei der Vereinigung der prismatischen, gemischte Farben und selbst die weifse Farbe, sobald dieselben so schnell durch einander bewegt werden, dafs das Auge den Eindruck aller Farben zugleich erhält.

Auf der combinatorischen Vermischung der vorher genannten Grundfarben mit ihren verschiedenen Abstufungen vom Hell zum Dunkel beruht auch die Ausführung des sogenannten Farbendreiecks, der Farbenpyramide und der Farbenkugel (s. Marbach's phys. Lex. II. 363. und Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 92).

Erster Versuch. Auf eine Kreisscheibe, die durch eine mechanische Vorrichtung in eine schnelle rotirende Bewegung versetzt werden kann, befestige man eine Kreisfläche von Pergamentpapier, worauf die prismatischen Farben möglichst rein als Sectoren des Kreises aufgetragen sind, und zwar dergestalt, daſs sich die Längen ihrer Bögen wie die §. 321 angegebenen Längen der einzelnen Farbenbilder verhalten. — So wie eine solche prismatische Farbenscheibe in eine dergleichen Bewegung versetzt wird, erscheint dieselbe, bei einem richtigen Tonverhältnisse der aufgetragenen Farben, weifs oder nahe weifs.

Zweiter Versuch. Dieselbe Erscheinung erhält man auch, wenn man nur die drei Grundfarben Roth, Gelb und Blau in drei Sectoren von 120° auf eine solche Scheibe im richtigen Farbentone aufträgt.

Dritter Versuch. Ueberlegt man zwei Drittel einer solchen Papierscheibe mit einer der gemischten Farben, Orange, Grün oder Violett, und das dritte Drittheil mit einer der Ergänzungsfarben Blau, Roth oder Gelb, so wird auch eine solche Scheibe bei ihrer Rotation weifslich erscheinen, sobald die Töne dieser Farben in der richtigen Stärke aufgetragen wurden.

Vierter Versuch. Ist auf einer solchen Scheibe die eine Hälfte mit einer, die andere mit einer zweiten der Grundfarben überlegt, so erscheint sie bei ihrer Rotation in der aus diesen gemischten Farbe, z. B. eine halb roth und halb blau angelegte erscheint violett, eine halb roth und halb gelb angelegte orange, eine halb gelb und halb blau angelegte grün.

Fünfter Versuch. Wenn man die Grundfarben nicht in den richtigen Verhältnissen, wie sie vereint Weifs geben, aufträgt, so zeigt die Scheibe bei ihrer Drehung diejenige Farbe, oder eine Mischung der beiden Farben, die im Ueberschusse vorhanden sind. — So giebt z. B. ein Halbkreis Roth, mit zwei Viertelkreisen Blau und Gelb verbunden, ein helles, aber reines Roth. Bei der Rotation vereint sich nämlich nur so viel des Roth mit dem Blau und Gelb, als zur Erzeugung des Weifs gehört, und der Ueberschufs bewirkt dann die rothe Färbung jenes entstandenen Weifs. — Dieser Versuch spricht für die §. 323 angeführte Hypothese Brewster's.

Ein zu solchen Versuchen ganz geeigneter Rotationsapparat ist Busolt's sogenannter Farbenkreisel (s. Pogg. Ann. XXXII. 656. u. Marbach's phys. Lex. II. 357).

Solche Farbenscheiben, wenn sie die in den voranstehenden Versuchen beschriebenen Erscheinungen vollkommen und rein zeigen sollen, sind nicht so leicht anzufertigen, als man glauben sollte. Aufser der Reinheit der dazu gebrauchten Farben und dem richtigen Verhältnifs ihrer Tonstärken, darf man dieselben auch nicht zu tief oder zu dunkel auftragen, weil dann die

resultirenden Farbenerscheinungen mehr oder weniger unrein ausfallen. Auch zeigt sich die Wirkung stets schöner und vollkommener, wenn man die Farben im Centro und an der Peripherie durch einen gegen ½ Zoll breiten schwarzen Kreis begrenzt, so dafs die Farbenerscheinungen nur zwischen dem auf diese Weise gebildeten Ringe entstehen können.

§. 330.

Diese verschiedenen bis hierher zur Sprache gekommenen Farbenerscheinungen werden nach den beiden Haupttheorieen über das Wesen des Lichtes auf folgende Weise erklärt:

Die Emanations-Theorie nimmt nämlich verschiedene Gattungen des Lichtstoffes an, wovon jede im Auge die Empfindung einer eigenthümlichen Farbe hervorbringt. Durch Zusammenwirken zweier oder mehrer dieser Lichtgattungen erhalten wir die Empfindung einer gemischten Farbe, und berühren auf dieselbe Weise Lichttheilchen aller Gattungen unser Auge, so sehen wir Weifs. Ein weifser Lichtstrahl, im Sinne dieser Hypothese, wäre demnach ein solcher, in dem alle Lichtgattungen zugleich enthalten wären.

Die Farbenzerstreuung bei prismatischer Brechung sucht man durch die Annahme zu erklären, dafs die durchsichtigen Körper gegen die verschiedenen Lichtgattungen eine verschiedene Anziehung besitzen, dadurch eine verschiedene Ablenkung von ihrem ursprünglichen Wege erzeugen und auf diese Weise, bei'm Austritt aus dem brechenden Mittel, die Zerstreuung bewirken.

Auf ähnliche Weise folgert man auch die Entstehung der Körperfarben, indem die farbigen Körper eine oder mehre dieser Lichtgattungen zurückhalten oder verschlucken, während sie die übrigen zurückstofsen oder reflectiren. Weifse Körper sind hiernach solche, welche alle Lichtgattungen zurückwerfen, schwarze dagegen die, welche

alle absorbiren, rothe die, welche nur das rothe Licht reflectiren, etc.

Nach der Undulations-Theorie beruht die Entstehung farbigen Lichtes in einer verschiedenen Geschwindigkeit der Aetherschwingungen, welche dadurch eben so eine verschiedene Empfindung im Auge bewirken, wie die verschiedenen Geschwindigkeiten der Luftschwingungen sie im Gehör erzeugen. So wie nämlich hohe und tiefe Töne einer verschiedenen Geschwindigkeit der Luftschwingungen entsprechen, eben so ist dieſs bei den Farben mit der Geschwindigkeit der Aetherschwingungen der Fall. Rothes Licht z. B. ist ein solches, welches durch ungefähr halb so viele Schwingungen des Aethers entsteht, als violettes Licht, und die Wellen des rothen Lichtes haben daher auch ungefähr die doppelte Länge von den Wellen des violetten, weil die Fortpflanzung aller mit gleicher Geschwindigkeit erfolgt.

Aus den Erscheinungen der Interferenz und Beugung des Lichtes, wovon die folgenden Capitel das Wichtigste enthalten, haben Fraunhofer, Herschel und Fresnel durch Messung und Rechnung folgende Werthe für die Wellenlängen der prismatischen Farben gefunden:

Zehntausendttheile eines Milliometers.

		Fraunhofer.	*Herschel.*	*Fresnel.*
Für das äuſserste rothe	Licht	7,400	6,756	—
- - rothe	—	6,879	6,502	6,20
- - orangegelbe	—	6,559	6,096	5,83
- - gelbe	—	5,888	5,766	5,51
- - grüne	—	5,265	5,613	5,12
- - blaue	—	4,856	4,978	4,75
- - indigoblaue	—	4,296	4,699	4,49
- - violette	—	3,963	4,420	4,23
- - äuſserste violette	—	—	4,242	—

Hieraus ergiebt sich mithin, was vorher angeführt wurde, daſs die rothen Lichtwellen die gröſsten, die violetten die kleinsten, und zwar daſs erstere (wenigstens nach Fraunhofer's Bestimmungen) fast noch einmal so groſs als letztere seien, daſs daher aber auch das rothe Licht nur halb so viele Schwingungen als das violette in gleicher Zeit macht.

Da nun nach Fraunhofer eine Welle des äufserste
then Lichtes 0,00074mm, die des violetten aber 0,00039mm
trägt, so gehen demnach von ersterem 100000 Wellen auf
oder 1351351 auf 1 Meter, von letzterem eben so viel auf
oder 2564102 auf 1 Meter. Nun hat 1 geogr. Meile (n. d.
Tabelle) ungefähr 7420 Meter Länge, und da das Licht in 1
cunde gegen 42000 solcher Meilen zurücklegt (§. 291), so f
dafs das rothe Licht in 1 Secunde gegen 7420 . 42000 . 135
oder nahe an 421 Billionen, das violette Licht aber in de
ben Zeit 7420 . 42000 . 2664102 gegen 799 Billionen Aetherw
erzeugt.

Vergleicht man diese Schwingungszahlen des farbigen Lic
mit denen tönender Körper, so ergiebt sich, da der tiefste T
der Secunde durch 32 halbe oder 16 ganze Schwingungen
Hin- und Hergänge erzeugt wird (§. 243.), dafs das rothe Licht
der tiefste Farbenton ungefähr 29 Billionen Mal so viele Schw
ungen vollendet, und während wir mit dem Ohre neun
die verschiedenen Tonverhältnisse einer Octave zu unters
den vermögen, oder während das Gebiet aller hörbaren T
9 volle Octaven umfafst, so sind die für das Auge wahrne
baren Farben gleichsam nur auf ungefähr eine Octave beschri
Für vollkommnere Gesichtsorgane als das unsere läfst sich d
auch vermuthen, dafs eine gröfsere Mannigfaltigkeit der Fa
stattfinden könne.

Eine solche Analogie zwischen den Farben des Pris
und den in einer Octave enthaltenen Tönen (§. 243) stellt
hauptsächlich dann heraus, wenn man nach Newton noch
Dunkelblau oder Indigo als eine verschiedene Farbe annin
Um diese Vergleichung anschaulicher zu erhalten, mufs
unter der Reihenfolge der Intervallen die der prismatischen
ben setzen, wie hier folgt:

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
c.	*d.*	*e.*	*f.*	*g.*	*a.*	*h.*
Roth,	Orange,	Gelb,	Grün,	Blau,	Indigo,	Violett.

Eben so, wie bei'm Schalle mehre Töne, gleichze
gehört, irgend einen consonirenden oder dissonirenden Acc
geben, läfst sich auch annehmen, dafs durch die glei
zeitige Einwirkung von zwei oder mehren verschieden
schwind schwingenden Lichtwellen die Empfindung ei
gemischten Farbe und bei dem Zusammenwirken aller e
farbigen Lichtwellen die Empfindung von Weifs ent
hen mufs.

Die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes und die damit verbundene Farbenzerstreuung ist daraus leicht erklärlich, daſs eine Welle, deren Vibrationsgeschwindigkeit gröſser ist, durch denselben Körper, z. B. Glas, anders abgelenkt oder gewendet werden könne (vergl. §. 306) als eine andere Welle, die eine kleinere Vibrationsgeschwindigkeit besitzt.

Was endlich die durch Zurückstrahlung des Lichtes entstehenden Farben betrifft, so läſst sich ebenfalls die Möglichkeit einsehen, daſs die Geschwindigkeit der auffallenden Lichtwellen durch verschiedene Körper eine verschiedene Aenderung erleiden könne, in Folge deren dann ein Körper auch eine verschiedene Farbe, als ein anderer Körper zeigen muſs.

Wer sich noch ausführlicher über diese verschiedenen farbigen Lichterscheinungen zu unterrichten wünscht, als es hier geschehen konnte, lese in Gehler's phys. Wrtb. n. A. die Artikel Farbe, Prisma, Linsengläser, achromatische, und in Marbach's phys. Lex. die Artikel Farbe II. 340—384, Linsenglas III. 398—407 und Zerstreuung des Lichtes IV. 973—985 nach. Rein nach der Undulations-Theorie erklärt findet man sie in Eisenlohr's Lehrb. d. Physik 3te Aufl. 265—279.

VII. Von den durch Interferenz entstehenden Lichterscheinungen.

§. 331.

Unter Interferenz des Lichtes versteht man die besonderen Erscheinungen, welche dann eintreten, wenn sich Lichtstrahlen, die von derselben Quelle ausgehen, nach Zurücklegung eines gleichen oder verschieden groſsen Weges sich unter einem sehr spitzen Winkel durchkreuzen. Bei diesem Zusammentreffen der Lichtstrahlen tritt nun der merkwürdige Umstand ein, daſs an manchen Durchkreuzungsstellen die Intensität des Lichtes erhöht, an anderen dagegen geschwächt wird, daſs sonach in letzterem

Falle Licht sich gegenseitig als solches in seinen Wi
ungen gleichsam vernichtet.

Man gewahrt diese Erscheinung sowohl bei'm refl
tirten, als auch bei'm gebrochenen Lichte. Das Licht
leuchtenden Gegenstandes erscheint dann bei'm Vorhand
sein einer solchen Interferenz durch dunkele Streif
Kreise oder verschieden gekrümmte Linien getrennt.
das Licht einfarbig, so erblickt man die hellen Streif
nur in dieser Farbe, durch dunkele Zwischenräume getren
ist es aber weifses oder Sonnenlicht, so erscheinen die Lic
streifen mit prismatischer Färbung.

Durch folgenden, von Fresnel angegebenen Versuch zeig
sich die Interferenz-Erscheinungen bei'm gebrochenen Lich
Wenn nämlich von einem Lichtpuncte oder Lichtstreifen *b* Fig.
Licht auf ein Prisma *mno* fällt, welches bei *c* einen sehr stumpf
und bei *m* und *n* daher sehr spitze brechende Winkel hat,
wird ein in *a* befindliches Auge, vermöge der gewöhnlich
Brechung, den Lichtpunct *b* doppelt, nämlich in *b'* und
sehen, aufserdem aber zwischen diesen beiden Bildern au
noch eine Anzahl heller und dunkler paralleler Streifen
blicken, welche zu der Verbindungslinie beider Bilder senkre
sind. Diese hellen Lichtstreifen erscheinen einfarbig, we
die Lichtquelle *b* gleichartiges, prismatisch gefärbt, we
sie weifses Licht ausstrahlt. Bedeckt man aber die ei
Hälfte des Prismas mit einem undurchsichtigen Körper,
dann das Durchkreuzen der Lichtstrahlen wegfällt, so v
schwinden auch die abwechselnden Streifen, und man erbli
nur ein einziges Lichtbild. — Die Beschreibung einiger ei
fachen und leicht zu behandelnden Vorrichtungen zur Anste
ung der Licht-Interferenz-Versuche von Ohm befindet sich
Pogg. Annal. XXXXIX. S. 98.

Der Engländer Young war derjenige, der diese eigenthü
lichen Erscheinungen zuerst (1800) richtig auffafste und dur
besonders dazu geeignete Versuche auf eine wissenschaftlic
Basis zu bringen suchte. Die späteren Bearbeiter dieses Gege
standes waren vorzüglich Arago, Fresnel, Fraunhofer u
Herschel.

Nach der Emanations-Theorie sind diese Erscheinung
sehr schwierig und ungenügend zu erklären, wogegen die
durch die Undulations-Theorie mit Beihilfe der Mathematik a
so glänzende Weise geschehen ist, dafs diese Theorie dar
eine Hauptstütze erhalten hat. Hier mag nur noch mit wen

gen Worten das Wesentliche dieser Erklärungsweise angeführt werden. Man nimmt nämlich an, dafs sich die bei den Interferenz-Erscheinungen von zwei verschiedenen Puncten ausgehenden Aether- oder Lichtwellen auf ihren Bahnen durchkreuzen, wo dann ähnliche Erfolge eintreten, wie bei dem Durchkreuzen von Flüssigkeits- und Schallwellen. Nach Fig. 218 würden die beiden Bilder b' und b'' des Lichtpunctes b, welche das Auge in a durch das Interferenzprisma mcn erblickte, als die Mittelpuncte zweier gleichartiger Wellensysteme zu betrachten sein, von denen die ausgezogenen Bogenlinien die Grenzen der ganzen, die punctirten dagegen die der halben Wellenlängen andeuteten. Bei dieser Annahme würden dann die Lichtatome an den Stellen, wo sich die Bögen der ganzen Wellenlängen und eben so da, wo sich die der halben Wellenlängen beider Systeme durchkreuzen, in der Figur also an den durch Linien verbundenen Durchkreuzungsstellen, in gleichen Schwingungszuständen befinden, weil sie in jedem Systeme unter sich eine ganze Wellenlänge Abstand haben (man vergl. die Erläuterungen zu §. 282 p. 379 u. 380). In diesem Falle müssen sie sich in ihren Wirkungen wechselseitig verstärken, die Helligkeit mithin vermehren. An den Stellen dagegen, wo die Bogenlinien der ganzen Wellen des einen Systems die der halben des anderen durchschneiden, in der Fig. *dn*. den mit Puncten bezeichneten Durchkreuzungsstellen, werden die Lichtatome mit entgegengesetzter Schwingungsgeschwindigkeit zusammentreffen, da in diesem Falle der Wellenstrahl des einen Systems einer ganzen, der des anderen nur einer halben Wellenlänge entspricht. Es müssen sich deshalb hier ihre Wirkungen gegenseitig aufheben, oder es mufs an diesen Stellen Interferenz oder Dunkelheit eintreten. Bei einer genaueren Untersuchung der Entfernungen dieser hellen und dunklen Stellen von den beiden Mittelpuncten b' u. b'' der Wellensysteme ergiebt sich dann, dafs die in der Mitte auf der Linie *do* befindlichen einen gleichen Abstand, die ersten hellen Lichtstreifen rechts und links von der Mitte auf der Linie *I. I* eine um eine ganze Wellenlänge verschiedene, die zwei nächst folgenden zu beiden Seiten der Mitte auf der Linie *II. II* eine um zwei ganze Wellenlängen differirende Entfernung haben, und dafs überhaupt diese Differenzen der Wege der Lichtstrahlen für alle auf einander folgende helle Streifen 0, 1, 2, 3, ... n ganze Wellenlängen betragen. Auf den mit Puncten bezeichneten Interferenzlinien dagegen wird man finden, dafs bei den beiden ersten, rechts und links von der Mitte, die Wegedifferenz $\frac{1}{2}$, bei den nächstfolgenden zu beiden Seiten $1\frac{1}{2}$, bei den dann folgenden $2\frac{1}{2}$ etc. Wellenlänge ausmacht, oder dafs allgemein die Wegeunterschiede der Lichtstrahlen, welche Interferenz oder

dunkele Stellen erzeugen, ½, 1½, 2½ ... $n + \frac{1}{2}$ ganze Wellenl betragen. Da nun aber die Längen der Wellen nach der des Lichtes verschieden sind (§. 330), so folgt ferner noch die Wegedifferenzen für das Licht der einfachen Farbe verschiedene Gröfse sind, und dafs die Entfernungen der und dunkelen Streifen bei'm rothen Lichte fast noch ein gröfs, als bei'm violetten ausfallen bei'm weifsen Licht neben einander zu liegen kommen, also prismatisch ge Streifen erzeugen müssen.

§. 332.

Als Folge der Interferenz des Lichtes betrachtet auch die Erscheinung der sogenannten Newton' Farbenringe, die Farben dünner Fischschuppen, des V geistes, wenn er in dünnen Schichten eine dunkle U lage bedeckt, eben so die Farben, welche ein auf W ausgebreiteter Tropfen Oel zeigt, die farbigen Figur Sprüngen der Krystalle, vorzüglich des isländischen spaths, des Gypses, des Bergkrystalls etc., ferne Farbenspiel der Seifenblasen, dünn ausgeblasener Glask so auch das Irisiren der Perlmutter, vieler Insecte u. dergl. mehr. Sehr schön zeigt sich dieses Farbe an den sogenannten Barton'schen Irisknöpfen, höchst feine und enge Linien diese Interferenzersche durch Reflexion hervorbringen.

Erster Versuch. Zur Hervorbringung der New schen Farbenringe mufs man eine recht flache Convexlin eine ebene Glastafel haben. Legt man die Linse auf l und drückt dann beide Gläser gleichförmig etwas gege ander, so zeigen sich im homogenen, reflectirten oder gehenden Lichte um den Punct herum, wo sie sich ber leuchtende Ringe von der Farbe des auffallenden Lichtes. Ringe sind durch dunkele Zwischenräume von einand trennt, indem sich von der Mitte jedes leuchtenden Ring Licht allmälig verliert. Je kleiner die Lichtwellen, dest ner sind auch die entstehenden Ringe; im violetten Lich len sie daher am kleinsten, im rothen am gröfsten aus. reflectirten Lichte ist der Berührungspunct schwarz, durchgehenden ist er hell, und an denselben Stellen, a chen im reflectirten Lichte helle Ringe erscheinen, sieh

im durchgehenden Lichte dunkle Ringe und umgekehrt. Wendet man bei diesem Versuche weifses oder Sonnenlicht an, so werden, zufolge der verschiedenen Wellenlängen der einzelnen Farben, eben so viele Systeme von Ringen, als es Farben giebt, sichtbar; diese fallen zum Theil auf einander und bringen dadurch gemischte Farben hervor. Aus der Vergleichung der reflectirten mit den durchgelassenen Farben ergiebt sich, dafs letztere immer die Complementairfarbe der reflectirten zeigen.

Zweiter Versuch. Das irisirende Farbenspiel, wie es sich an Sprüngen von Glas, von Krystallen oder zwischen den auf einander liegenden Blättchen mancher krystallisirten Körper, z. B. bei'm sogenannten Fraueneis und Gyps vom Montmartre gewöhnlich zeigt, ist eine den Newton'schen Farbenringen ganz analoge Erscheinung, nur dafs hier die durch dunkele Zwischenräume getrennten Farbenstreifen keine Ringe, sondern unregelmäfsig gekrümmte Figuren bilden. — Ganz dieselben Erscheinungen lassen sich nun auch mittels zweier ebenen Glasplatten hervorbringen, indem man eine derselben etwas anhaucht und dann die andere darauf drückt. Die entstehenden Figuren verändern sich in ihrer Form und bei auffallendem weifsem Lichte auch in ihrer Farbe, sobald man die Glasplatten auf einander verschiebt oder dreht.

Dritter Versuch. Die Interferenzfarben dünner Häutchen des Seifenschaums zeigen sich am schönsten in einem luftleeren Raume. Dr. R. Böttger giebt hierzu folgendes Verfahren an (s. die Beiträge zur Physik und Chemie 2s Hft. 1841 p. 51). — Man nehme ein gewöhnliches weifses Arzneiglas von möglichst gleichförmigem Glase (welches ungefähr ¾ Pfd. Wasser zu fassen vermag), bringe in dieses ½ Drachme ganz reine dünn geschabte Seife und überschütte diese mit etwa 1½ Loth destillirtem Wasser. Hierauf erhitze man vorsichtig, unter fortwährendem Drehen, das Glas über einer Spiritusflamme so lange, bis die Seife in dem wenigen Wasser aufgelöst und die Temperatur der Flüssigkeit dem Siedepuncte nahe ist oder diesen erreicht. Dann verschliefse man das Glas schnell mit einem gut passenden Korke und überziehe diesen, der Luftdichtheit wegen, noch mit einer Lage von Siegellack. Bewegt man das bis auf etwa 18 bis 20° R. erkaltete oder bis auf diese Temperatur erwärmte Glas so, dafs im Innern eine den ganzen Durchmesser des Glases ausfüllende dünne Seifenblase entsteht (was, beiläufig gesagt, im Anfange nicht immer einem Jeden gelingen dürfte, aber dennoch bei einiger Uebung leicht wird zu bewerkstelligen sein), so sieht man, wenn das Glas nicht vollkommen horizontal steht, oder das dünne ausgespannte Seifenhäutchen eine etwas schräge Richtung genommen hat, zu dem höher gelegenen Segmente desselben die unendlich fein zer-

ebene zu der Polarisationsebene des auffallenden Lichtstrah
les rechtwinkelig, so wird in diesem Falle der polarisir
Lichtstrahl weder zurückgeworfen, noch durch die durch
sichtigen Körper hindurchgelassen. Man sagt dann: d
Lichtstrahl sei in einer auf dieser Ebene senk
rechten Ebene polarisirt.

Die beiden Strahlen eines durch doppelte Brechun
getheilten Lichtstrahles sind beide, aber rechtwinkelig z
einander, polarisirt. Der gewöhnlich gebrochene Lichtstra
ist nämlich in der Ebene des Hauptschnitts, der ungewöh
lich gebrochene in einer auf dem Hauptschnitt senkrec
stehenden Ebene polarisirt. (§. 319.)

Die Erklärungen über die Ursachen der Lichtpolarisati
gehören zu den schwierigsten in der Lehre des Lichtes. A
ungezwungensten und befriedigendsten lassen sich dieselben a
der Undulations-Theorie deduciren. Die Hauptsätze nach di
ser Theorie sollen an den gehörigen Orten in den Erläuterung
angeführt werden. Hier möge also zunächst die Erklärung fo
gen, wie man bei'm polarisirten Lichte die Schwingungen d
Aethers annimmt.

Während nämlich bei dem nicht polarisirten und gewöh
lichen Lichte die Aethertheilchen auf der Richtung ihrer For
pflanzung nach allen Seiten vibriren (§. 282), so nimmt m
an, dafs dies bei'm polarisirten Lichte nur nach zwei entgege
gesetzten Seiten erfolgt. Die Ebene, in welcher dann die
Schwingungen vor sich gehen, heifst die Vibrations- od
Schwingungs-Ebene, und denkt man sich durch die Rich
ung des Lichtstrahls eine Ebene rechtwinkelig auf die Schwin
ungs-Ebene gelegt, so ist dies die Polarisations-Eben
des Strahls. Hieraus ergiebt sich demnach, dafs man sich d
Vibrationen polarisirter Lichttheilchen stets als rechtwinkel
zu ihrer Polarisations-Ebene vorstellen mufs. — Wäre demnac
AB Fig. 210 ein polarisirter Lichtstrahl und die Papierfläch
seine Schwingungs-Ebene, so würde die Curve $a^1f^1b^1g^1c^1h^1$ d
in dieser Ebene schwingenden Aetheratome für einen gewiss
Augenblick darstellen, und eine die Papierfläche in der Lin
AB rechtwinkelig durchschneidende Ebene wäre dann für di
sen Lichtstrahl die Polarisations-Ebene.

Die zur sicheren und bequemen Beobachtung dieser und an
noch anderer später zu erwähnender Lichtphänomene, so w
zur Messung der Polarisationswinkel dienenden Apparate si
die sogenannten Polarisations-Instrumente. Sie hab

eine verschiedenartige Einrichtung und Zusammensetzung erhalten, unter ihnen ist aber wohl das Baumgartner'sche dasjenige, welches, bei einer einfachen Construction, bequeme und hinlänglich genaue Beobachtungen anzustellen gestattet.

Seine Einrichtung ist im Wesentlichen folgende: *a* Fig. 220 ist ein unter 57° gegen den Horizont geneigter Planspiegel von auf der Rückseite schwarz gefirnifstem Glase, der das durch den gewöhnlichen Glasspiegel *b* ihm zugeworfene Licht unter einem Winkel von 33° erhält und polarisirt vertikal aufwärts wirft. Dieser polarisirte Lichtstrahl nimmt seinen Weg durch die kreisförmige Oeffnung *d* und durch das innen geschwärzte Rohr *e*, welches sich an der Säule *f* höher und tiefer stellen läfst. Ueber die obere Oeffnung pafst ein Ring *h*, der sich um die Axe der Röhre drehen läfst und einen Rahmen *g* trägt, der einen ähnlichen geschwärzten Glasspiegel oder eine Anzahl (10 bis 12) ebener über einander liegender Glasplatten aufnimmt und sich gegen die Axe der Röhre unter verschiedener Neigung stellen läfst. Diesen Aufsatz mufs man mit einem doppelt brechenden Krystall vertauschen können, wozu ein achromatisirtes Doppelspath-Prisma am geeignetsten ist, welches, in einen Ring gefafst, in der oberen Röhrenöffnung drehbar eingesetzt wird. Zur Aufnahme von Körpern, durch welche der polarisirte Strahl geleitet werden soll, dient ein in die kreisförmige Oeffnung *d* passender Ring mit weifsem Glase, auf welchen jene gelegt und dann um die Axe des polarisirten Lichtstrahls gedreht werden können. — Den Lichtpolarisations-Apparat von Biot findet man beschrieben und abgebildet in Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. von Fechner V. 108, den von Dove in Pogg. Ann. XXXV. 596, so wie in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VII. 700.

A. Erscheinungen des durch Reflexion und Refraction polarisirten Lichtes.

§. 336.

Durch Reflexion polarisirtes Licht zeigt nun folgende Erscheinungen:

1.) Ein unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation auf den ersten Polarisationsspiegel gefallener und von diesem reflectirter Lichtstrahl wird vom zweiten Spiegel vollkommen zurückgeworfen, sobald die Einfallsebene desselben gegen den ersten Spiegel mit der Reflexionsebene am zweiten zusammenfällt.

2.) Der zweite Spiegel wirft dagegen das durch ersten polarisirte Licht nicht zurück, sobald die Ei und die Reflexionsebene senkrecht zu einander stehen.

Ist *AB* Fig. 221 der Polarisationsspiegel, ab der i fallende gewöhnliche Lichtstrahl, so ist *bc* der von ihm n geworfene polarisirte Lichtstrahl. Dieser wird von de flections- oder zweiten Spiegel *CD* nach *cd* reflectirt, w mit *AB* eine parallele Lage hat, wie I*, und wenn er n ser um einen halben Kreis oder 180° gedreht wird, wie I beiden Fällen liegen nämlich nach 1.) der einfallende, de risirte und dieser reflectirte Lichtstrahl *ab*, *bc* und *cd* in und derselben Ebene, nach der Zeichnung in der Ebe Papierfläche.

Ist aber nach 2.) der Reflexionsspiegel gegen den R tionsspiegel um 90° gewendet, oder kreuzen sich gle beide Spiegelflächen, wie *CD* III* darstellt, so wirft er *c* auf ihn fallenden polarisirten Lichtstrahl *bc* nicht z weil dann dessen Reflexionsebene, nach der Zeichnung, recht zur Fläche des Papiers steht. Dieselbe Erscheinu aus gleichen Ursachen auch ein, wenn er eine Drehu 270° erhält.

Hieraus ergiebt sich demnach, dafs während einer ganz drehung des zweiten oder Reflexionsspiegels um den auf i lenden polarisirten Lichtstrahl der letztere in zwei Lagen l wo das vom ersten Spiegel auf ihn gefallene Licht vollk zurückgeworfen, und in zwei, wo es nicht zurückgeworf verschluckt wird. Bezeichnen wir die erste Lage, wo Spiegelflächen einander parallel sind, und bei welche kommene Reflexion vorhanden ist, mit *o*, so findet bei 90 ung keine, bei 180° wieder vollkommene und bei 270° mals keine Zurückwerfung statt. In jeder anderen Lage Spiegels erfolgt die Reflexion nur theilweise und wi so schwächer, je näher er dem Brechungswinkel von 9 270° kommt. — Nach Malus ist die Intensität des refl Lichtes stets dem Quadrate des Cosinus des Neigungsw den die erste Einfallsebene mit der zweiten bildet, propo

Befinden sich aber an der Stelle des Reflexionss mehre über einander liegende weifse Glasplatten, so das durch Reflexion polarisirte Licht folgende Erscheinu

1.) Das vom ersten Spiegel zurückgeworfene geht nicht durch die Glasplatten, wenn ihre Refra ebene mit der Reflexionsebene des ersten oder Polaris

is zusammenfällt oder ihr parallel ist, wie diefs bei agen *CD* in der Fig I* und II* der Fall wäre.

.) Das meiste durch den ersten Spiegel polarisirte wird aber von den Glasplatten durchgelassen, sobald Refractionsebene zur Reflexionsebene des ersten Spie- echtwinkelig steht, d. i. wenn die Glasplatten eine wie *CD* in IV* und V* haben.

Hier zeigt sich mithin, dafs ein durch Reflexion polarisir- Lichtstrahl in den Lagen durch Glas hindurchgeht, wo das- unfähig ist, ihn zurückzuwerfen, wogegen er in den La- die Glasplatten nicht durchdringt, wo er von ihrer Ober- reflectirt wird.

§. 337.

Die Erscheinungen, welche die durch Refraction po- ten Lichtstrahlen zeigen, sind folgende:

.) Licht, welches unter dem Winkel der vollkomme- olarisation durch mehre über einander liegende weifse latten hindurch gegangen und dadurch polarisirt ist, durch ein gleiches Glasplattensystem hindurch ge- , wenn die Brechungsebene des ersten Systems mit es zweiten zusammenfällt.

.) Es wird das durch das erste Glasplattensystem po- rte Licht durch das zweite nicht hindurch gelassen, die Brechungsebenen der beiden Plattensysteme senk- zu einander stehen.

Ist *AB* Fig. 222 das erste Glasplattensystem, auf welches gewöhnlicher Lichtstrahl *ab* unter dem vollkommenen Po- sationswinkel auffällt, so ist *bcd* der durch Brechung pola- te Lichtstrahl.

Dieser geht nach dem ersten Falle durch ein zweites Glas- tensystem *CD* hindurch, wenn es, wie I*, mit dem von eine parallele Lage hat, oder wenn es, wie II*, um einen en Kreis oder 180° herumgedreht wird. In beiden Lagen n nämlich die Brechungsebenen von *AB* und *CD* zusam- , d. h. *bc* und *de* so wie der polarisirte Lichtstrahl *cd* lie- in einer Ebene, und hier nach der Zeichnung in der Fläche Papiers.

Steht aber nach dem zweiten Falle das zweite Glaspla
system *CD* III* um 90° gegen das erste gewendet, so geh
in *d* auf dasselbe fallende Lichtstrahl nicht hindurch, weil
sen Brechungsebene, nach der Zeichnung, senkrecht zur F
des Papiers ist.

Hieraus ergiebt sich mithin, dafs das durch Brechun
larisirte Licht bei einer zweiten Brechung sich ganz so ve
wie durch Reflexion polarisirtes Licht bei einer zweiten
rückwerfung.

Substituirt man an die Stelle des zweiten Glaspla
systems einen Reflexionsspiegel oder betrachtet man
von der vorderen Glasplatte reflectirte Licht, so wird
finden:

1.) dafs das durch das erste Glasplattensystem
durchgegangene Licht von dem zweiten nicht refl
wird, wenn die Reflexionsebene mit der Brechungse
zusammenfällt, wie in den Lagen I* und II**, wo
Brechungsebene von *AB* und die Reflexionsebene von
beide in der Fläche des Papiers liegen, und

2.) dafs dagegen der Reflexionsspiegel oder die
dere Glasplatte des zweiten Systems den durch das
polarisirten Lichtstrahl zurückwirft, wenn die Reflexi
ebene rechtwinkelig zur Brechungsebene steht, wie in
die Lage *CD* zeigt, von welcher die Reflexionsebene s
recht zur Fläche des Papiers steht.

Auch hier zeigt sich ein ähnliches Verhalten des d
Brechung polarisirten Lichtes gegen das durch Reflexion e
tene, indem das durch das erste Glasplattensystem polari
Licht von dem zweiten in den Lagen nicht reflectirt wird,
dasselbe durch sie hindurch geht, wogegen bei den Lagen
Reflexion dieses Lichtes erfolgt, bei welchen ein Durchg
durch die Glasplatten nicht stattfindet, und dafs diese
rückwerfung gerade da eintritt, wo bei dem durch
flexion polarisirten Lichte sich ein Durchgehen durch die
platten zeigt.

Aus den in den vorangehenden §§. erklärten Erscheinu
des durch Reflexion und Refraction polarisirten Lichtes er
sich, dafs dasselbe dadurch auf verschiedene Art polarisirt w

und zwar, wie schon §. 335 angeführt wurde, dergestalt, dafs die Polarisationsebene, und eben so auch die Schwingungsebenen des reflectirten und gebrochenen Lichtes stets rechtwinkelig zu einander stehen. Die Aethertheilchen eines durch Reflexion polarisirten Lichtstrahls schwingen nämlich in einer Ebene, welche zur Reflexionsebene des ersten oder Polarisationsspiegels senkrecht steht, weshalb die Polarisationsebene für dieses Licht und dessen Reflexionsebene dieselbe ist; die eines durch Refraction polarisirten Lichtstrahls aber schwingen in der Brechungsebene selbst, und ihre Polarisationsebene steht daher gegen diese senkrecht.

Wäre nämlich *LL* Fig. 223 I* ein Lichtstrahl, so würde dieser in den beiden sich rechtwinkelig schneidenden Ebenen *aabb* und *ccdd* polarisirt werden können. Nähme man *aabb* als die Schwingungsebene für den durch Zurückwerfung polarisirten Lichtstrahl an, so würde die darauf verzeichnete Schlangenlinie die Schwingungs- und Intensitäts-Curve der polarisirten Lichttheilchen, die Ebene *ccdd* aber die Polarisationsebene für diese vorstellen, während für den durch Brechung polarisirten Lichtstrahl auf gleiche Weise *ccdd* die Schwingungs- und *aabb* die Polarisationsebene sein müfste. Wenn daher *AB* 223 II* die perspectivische Ansicht eines Polarisationsspiegels vorstellte, auf welchen ein Lichtstrahl *ab* unter dem vollkommenen Polarisationswinkel fiele, so würde *bc* der zurückgeworfene und polarisirte Lichtstrahl und *CD* dessen Schwingungsebene sein, so wie die darauf verzeichnete Curve die Schwingung der polarisirten Aethertheilchen versinnlichte. Dasselbe stellt die Fig. 223 III* für einen gebrochenen Lichtstrahl dar. *AB* wäre nämlich das Glasplattensystem, *ab* der auf sie unter dem Polarisationswinkel fallende Lichtstrahl, welcher nach *bc* gebrochen und nach *cd* als ein durch Refraction polarisirter Lichtstrahl seinen Weg fortsetzte. Für diesen würde die auf den Glasplatten senkrecht stehende Ebene *CD* die Schwingungsebene und die darauf verzeichnete krumme Linie ebenfalls die Curve der polarisirten Aethertheilchen darstellen.

Da nun ein Lichtstrahl, welcher auf mehre über einander liegende Glasplatten fällt, theils zurückgeworfen, theils gebrochen wird, so mufs auch ein solcher auf diese doppelte Weise polarisirt werden. Die Fig. 219 möge diefs noch deutlicher machen. *AB* sei das Glasplattensystem im Durchschnitte so dargestellt, als wenn dasselbe senkrecht auf der Papierfläche stände, so würde letztere zugleich als die Reflexions- und Brechungsebene gelten können. Ein unter dem Polarisationswinkel auf diese Glasplattten fallender Lichtstrahl *ab* müfste folglich, auf der Ebene des Papiers senkrecht polarisirt, nach *bc* zurückgeworfen und nach *bed*, in der Ebene des Papiers selbst

polarisirt, gebrochen werden. Die Schwingungsebene des reflectirten Strahles *bc* hätte man sich also senkrecht zur Papierfläche zu denken, und die auf dieser Linie angegebenen Puncte würden die Richtungen andeuten, in welchen die polarisirten Aethertheilchen ihre oscillatorischen Excursionen machten. Die Schwingungsebene des gebrochenen Strahles *bed* wäre aber die Papierfläche selbst, und die auf dieser Linie angegebenen Querstriche bezeichneten hier die Abweichungen der vibrirenden Aethertheilchen.

Polarisirtes Licht, wenn es auf eine zweite Spiegelfläche oder auf ein Glasplattensystem trifft, wird nur dann reflectirt oder gebrochen, wenn es seine Oscillationen in einer gleichliegenden Schwingungsebene fortsetzen kann; es wird dagegen vernichtet oder verschluckt, sobald die neue Schwingungsebene zu der vorigen rechtwinkelig steht. Aber auch hier ist es von dem Winkel abhängig, den der schon im polarisirten Zustande befindliche Lichtstrahl mit der Fläche bildet, auf die er fällt, und davon, ob die zweite Polarisation mehr oder weniger vollständig eintritt, und in Folge dessen wird auch ein solcher Strahl von der zweiten Ebene nur bei dem Winkel der vollkommenen Polarisation an der Zurückwerfung oder am Durchgehen vollständig gehindert werden.

Hieraus werden nun die in den §§. 336 und 337 beschriebenen Erscheinungen hinlänglich erklärlich sein, so wie zugleich auch die in den Fig. 221 und 222 auf den polarisirten Lichtstrahlen angegebenen Puncte und Linien, in dem vorher erklärten Sinne verstanden, dazu beitragen können, den Vorgang bei diesen Erscheinungen deutlicher zu machen.

§. 338.

Läfst man polarisirtes Licht durch eine kleine Oeffnung auf ein Kalkspath-Rhomboeder oder besser noch auf ein daraus verfertigtes achromatisirtes Prisma fallen, so erblickt das dahinter befindliche Auge bei zwei bestimmten Lagen des Krystalls nur ein Bild der Oeffnung, bei allen anderen aber zwei Bilder. In den Lagen, wo man nur ein Bild der Oeffnung sieht, geht auch nur einer der durch die doppelte Brechung getheilten Lichtstrahlen hindurch (§. 319); der andere dagegen wird nicht durch den Krystall gelassen.

Liegt der Hauptschnitt des Krystalls in der Reflexionsebene des polarisirten Lichtes, so sieht man nur ein Bild der Oeffnung, und zwar das, welches durch die gewöhnliche Brechung entsteht, oder in dieser Lage geht nur der gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl hindurch. Dreht man den Krystall, so erscheinen zwei Oeffnungen, aber von verschiedener Helligkeit. Bildet der Hauptschnitt des Krystalls mit der Reflexionsebene einen Winkel von 45°, so zeigen beide Oeffnungen gleiche Helligkeit. Dreht man ihn weiter, so wird das gewöhnlich gebrochene Licht matter, und wenn man den Krystall um 90° aus seiner ersten Lage gebracht hat, so dafs sein Hauptschnitt jetzt rechtwinkelig zur Reflexionsebene steht, so verschwindet der Lichtstrahl der gewöhnlichen Brechung gänzlich; man erblickt nämlich nur eine Oeffnung, indem in dieser Lage nur der ungewöhnlich gebrochene Lichtstrahl den Krystall durchdringt. Bei jeder Viertelsumdrehung verschwindet abwechselnd das eine Bild der Oeffnung, und das andere erhält das Maximum der Helligkeit. Geht durch Brechung polarisirtes Licht durch einen solchen Krystall, so zeigen sich dieselben Erscheinungen, nur mit dem Unterschiede, dafs in den Lagen, wo bei reflectirtem Lichte der gewöhnlich gebrochene Strahl hindurch geht, hier der ungewöhnlich gebrochene seine Stelle vertritt, und so auch umgekehrt.

Die doppelte Brechung polarisirt daher die beiden Strahlen, in welche ein Strahl natürlichen Lichtes zerlegt wird, in Ebenen, die auf einander senkrecht stehen, und zwar bei reflectirtem Lichte den gewöhnlichen Strahl in der Richtung des Hauptschnitts, den ungewöhnlichen in einer auf dem Hauptschnitt senkrecht stehenden Ebene.

In der Fig. 200 ist (nach §. 319) *ml* der gewöhnlich, *mf* der ungewöhnlich durch Kalkspath gebrochene Lichtstrahl. Die auf diesen Linien angegebenen Puncte und Querstriche bezeichnen, im Sinne der Erklärungen des vorigen §., die Schwing-

ungen der polarisirten Aethertheilchen, und hiernach wird es auch leicht einzusehen sein, warum die in diesem §. angegebenen Erscheinungen so eintreten müssen, sobald man sich den Kalkspath an der Stelle des zweiten oder Reflexionsspiegels substituirt denkt.

Dem Kalkspath ähnlich verhalten sich auch andere krystallisirte Körper, welche doppelte Strahlenbrechung besitzen. Hierher gehört vorzüglich der Turmalin. Es krystallisirt derselbe in langen Prismen, deren Axe zugleich die brechende Axe ist. Die Krystalle werden zu diesem Gebrauche in dünne, zur Axe parallele Blättchen gespalten. Jeder ein solches Blättchen senkrecht treffende polarisirte Lichtstrahl geht nur dann ungeschwächt durch dasselbe, wenn dessen Polarisationsebene die Axe des Turmalinblättchens rechtwinkelig durchschneidet, verschwindet dagegen ganz, wenn die Polarisationsebene mit der Axe des Turmalins parallel ist; in den Zwischenlagen nimmt die Helligkeit ab oder zu, je nachdem der Neigungswinkel der Polarisationsebene kleiner oder gröfser wird. — Ein solches Blättchen ist auch ein sehr brauchbarer Apparat, die doppelt brechende Kraft anderer Körper, die nur in dünnen Blättchen anzutreffen sind, zu prüfen.

B. Farbige Lichterscheinungen im polarisirten Lichte.

§. 339.

Geht polarisirtes Licht durch vollkommen krystallisirte Körper in sehr dünnen Blättchen, welche mit der Hauptkrystallisationsaxe parallel geschnitten oder gespalten sind, z. B. durch Gyps- oder Glimmer-Blättchen, so zeigt dieſs durchgegangene, zum zweiten Male polarisirte Licht neue Eigenschaften. Bei der Drehung des Blättchens, so wie auch des zweiten Polarisationsspiegels oder des Glasplattensystems erscheint dasselbe nicht blos in einem Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit, sondern auch in einem solchen von gewissen prismatischen Farben.

In allen den Lagen, wo der Hauptschnitt des Blättchens mit der Reflexionsebene des ersten Spiegels Winkel von 0^0, 90^0, 180^0 und 270^0 bildet, also wenn jener mit der

Reflexionsebene zusammenfällt oder sie rechtwinkelig durchschneidet, erscheint dasselbe im zweiten Polarisationsspiegel hell, sobald dieser eine solche Stellung hat, dafs seine Reflexionsebene mit der des ersten Spiegels zusammenfällt; kreuzen sich aber die Stellungen beider Spiegel oder stehen ihre Reflexionsebenen rechtwinkelig gegen einander, so zeigt es sich dann im zweiten Spiegel, bei denselben Lagen seines Hauptschnitts, dunkel. Die entgegengesetzten Erscheinungen treten ein, sobald das durch das krystallisirte Blättchen gegangene Licht auf ein Glasplattensystem unter dem entsprechenden Polarisationswinkel fällt; man sieht es nämlich durch die Glasplatten dunkel, wenn sie die Stellung haben, wo man es im zweiten Spiegel hell erblickt, dagegen in den Stellungen hell, wo es in dem Spiegel dunkel erscheint.

Dreht man das krystallisirte Blättchen in seiner eigenen Ebene links oder rechts um den polarisirten Lichtstrahl, so dafs es die eben bezeichneten Lagen verläfst, so erscheint es in den schönsten einfachen Farben, die jedesmal im reflectirten Lichte complementär (§. 323) zu denen des gleichzeitig durchgehenden Lichtes sind. Die Intensität der bei der Drehung des Blättchens sich gleich bleibenden Farben erreicht jedesmal in den vier Octanten, d. h. wenn der Hauptschnitt des Blättchens um 45^0 von den erst genannten Lagen abweicht, ihr Maximum. Wird der zweite Polarisationsspiegel oder das Glasplattensystem bei einer Stellung des Blättchens, in welcher es die lebhafteste Farbe zeigt, um einen Quadranten gedreht, so wechseln die Farben im reflectirten und durchgelassenen Lichte mit einander ab.

Aus dem Erklärten ersieht man also, dafs bei einer völligen Umdrehung des Blättchens in seiner Ebene und eben so auch bei einer ganzen Umdrehung des zweiten

Spiegels oder Glasplattensystems ein achtmaliger Lichtwechsel dergestalt eintritt, dafs es in den Octanten der Drehung am intensivsten gefärbt, in den Quadranten aber farblos oder dunkel erscheint.

Vertritt den zweiten Polarisationsspiegel ein achromatisirtes Doppelspathprisma, so erblickt man zwei Bilder des Blättchens. Liegen die Hauptschnitte des Blättchens und des Doppelspathes in einer Ebene über einander oder durchschneiden sie sich rechtwinkelig, so ist das eine Bild hell, das andere dunkel. Dreht man das Blättchen oder den Doppelspath um den polarisirten Lichtstrahl, so färben sich beide Bilder complementär, erreichen bei jeder Viertelsdrehung unter 45^0 die stärkste Färbung und erscheinen da, wo sie sich zum Theil decken, weifs.

Sehr bequem lassen sich diese Erscheinungen an solchen Gyps- und Glimmerblättchen, so wie auch an anderen durchsichtigen Körpern, wie sie die folgenden §§. anführen, wahrnehmen, wenn man sie bei dem in §. 335 beschriebenen Polarisations-Instrumente auf das die Oeffnung *d* bedeckende Glas legt und mit diesem ihre Drehung bewirkt.

Die Art der Farbe, welche hierbei solche krystallisirte Blättchen zeigen, hängt von ihrer Dicke ab. Während sie nämlich bei einer gewissen Dicke, nach Biot über $\frac{1}{10}$ Zoll, farblos erscheinen, nehmen sie an Lebhaftigkeit der Farben zu, wenn sie dünner werden, bis wieder die Farben bei einer zu grofsen Dünnheit verschwinden. Einfarbig erblickt man sie nur dann, wenn sie durchaus gleich dick sind, mehrfarbig aber, wenn sie eine verschiedene Dicke haben. Am deutlichsten zeigt diefs ein keilförmig zugeschliffenes Gypsblättchen, d. h. ein solches, welches auf einer Seite so dick ist, dafs es keine Farben hervorbringt, auf der anderen Seite aber gleichsam in eine Schneide von verschwindender Stärke ausläuft. Auf einer solchen Platte erscheinen dann alle Farben, welche den verschiedenen Dicken zukommen, in einer regelmäfsigen Aufeinanderfolge als hell- und dunkelfarbige Streifen, und zwar um so lebhafter gefärbt, je näher sie nach der zugeschärften Seite hin liegen.

Diese farbigen Lichterscheinungen und namentlich die zuletzt angeführten, so wie die, deren noch in den folgenden

§. Erwähnung geschehen wird, zeigen eine vollkommene Analogie mit den §. 332 beschriebenen Newton'schen Farbenringen, weshalb die Undulations-Theorie auch diese aus einer Interferirung der polarisirten Lichtwellen zu erklären sucht, die durch eine Verzögerung derselben eintritt, während sie durch das krystallisirte Blättchen hindurch gehen.

§. 340.

Noch schönere Farbenerscheinungen als die vorigen, welche sich besonders durch bestimmte Figuren charakterisiren, treten hervor, wenn man polarisirtes Licht nicht durch ein dünnes Blättchen, sondern durch eine senkrecht auf die optische Axe geschnittene Platte in der Richtung dieser Axe durchgehen läfst. Es zeigen dann diese Krystallplatten bei einer abermaligen Polarisation des durch sie gegangenen Lichtes mehre concentrische verschiedenfarbige Ringe, den Newton'schen Farbenringen ganz ähnlich, die in der Mitte von einem rechtwinkeligen Kreuze durchschnitten werden. Dieses Kreuz ist entweder weifs oder schwarz, und die Ringe erscheinen dann stets in den complementären Farben. Das Kreuz erscheint in dem zweiten Spiegel oder durch das Glasplattensystem bei den Lagen weifs, wo das polarisirte Licht des ersten Spiegels reflectirt oder durchgelassen, schwarz dagegen, wo es verschluckt wird oder seinen Weg nicht weiter fortsetzen würde. Durch ein achromatisirtes Doppelspathprisma erblickt man beide Bilder zugleich, wobei sich die complementären Farben der Ringe am befsten vergleichen lassen.

Bei den Krystallen mit zwei optischen Axen bilden sich um jede Axe Farbenringe, deren Mittelpuncte bisweilen nur eine einzige gerade oder krumme Linie statt eines Kreuzes durchschneidet. — Die Fig. 224 I* II* stellen diese Erscheinungen dar, wie sie einaxige, die III*, wie sie zweiaxige Krystalle hervorbringen.

§. 341.

Geht polarisirtes Licht durch durchsichtige, nicht krystallisirte Körper, wie z. B. durch Glas, so zeigt sich keine solche Veränderung des polarisirten Lichtes. Hieraus und aus dem in den vorigen §§. Erklärten erhellet also, dafs diese Erscheinungen im genauen Zusammenhange mit dem inneren Krystallisationsgefüge des durchsichtigen Körpers stehen. Wird daher in solchen unkrystallisirten durchsichtigen Körpern eine Abweichung ihres inneren Gefüges, z. B. durch Erhitzung oder Druck, hervorgebracht, so zeigen sie dann ähnlich farbige Erscheinungen wie krystallisirte Körper. Der Entdecker derselben, Prof. Seebeck, hat sie entoptische Farbenfiguren genannt.

Bleibend läfst sich dem Glase diese Eigenschaft ertheilen, wenn man dasselbe bis zum Weichwerden glüht und nachher an der Luft schnell abkühlt.

Die in Fig. 225 I* und II* dargestellten Zeichnungen geben ein Bild der Erscheinung einer schnell abgekühlten quadratischen Glasplatte oder eines Glaswürfels, und zwar stellt die Fig. 225 I* die Erscheinung dar, wie sie sich im zweiten Polarisationsspiegel in den Lagen Fig. 221 I* und II* zeigen würde, die Fig. 225 II* aber in den Lagen Fig. 221 III*. Eben so läfst sich leicht bestimmen, welche Figuren dem durch das Glasplattensystem hindurchgegangenen Lichte bei diesen Hauptlagen angehören müssen.

Die Entdeckung der Lichtpolarisations-Erscheinungen, und zwar der vom Glase reflectirten, geschah von Malus 1810; die Farbenerscheinungen im polarisirten Lichte wurden von Arago 1811 erst beobachtet, und seitdem haben diese merkwürdigen Eigenschaften des Lichtes Brewster, Biot, Fresnel, Seebek, Herschel u. A. noch weiter verfolgt. Diese gewifs höchst wichtigen und interessanten Erscheinungen des Lichtes, welche namentlich für die Undulations-Theorie in so vielfacher Beziehung eine wichtige Stütze geworden sind, in ihren Einzelheiten noch weiter zu verfolgen, gestattet der diesem Buche zugedachte Umfang nicht, weshalb auch über die sogenannte elliptische und circulare Polarisation hier weiter nichts erwähnt wird; wer sich aber hierüber, so wie über diesen ganzen Theil der Lehre vom Lichte, ausführlicher unterrichten

will, wird in nachstehenden Werken genügende Befriedigung finden:

Biot, Lehrbuch der Experimental-Physik, von Fechner. V. 1829. — Herschel, vom Licht, aus dem Englischen von Schmidt. 1831. — Brewster, populäres vollständiges Handbuch der Optik, von Hartmann. 1835. — Heufsi, Exper. Phys. 2ter Curs. 1838. — Baumgartner, Naturlehre 6te Aufl. 1839 und 7te Aufl. 1842. — Eisenlohr, Lehrbuch der Physik 2te u. 3te Aufl. 1841. — Fischer, mechan. Naturl. II. 2te Aufl. 1840. — Marbach, phys. Lex. IV. 156—209. — Gehler, phys. Wrtb. n. A. VII. 694—869, so wie in mehren Jahrgängen von Poggendorf's Annalen.

X. Vom Auge und von den verschiedenen durch dasselbe vermittelten Erscheinungen des Sehens.

§. 342.

Durch den Sinn des Gesichtes oder durch die dafür bestimmten Nerven gelangen wir zu dem Bewufstsein des Sehens, d. h. wir erhalten dadurch zunächst die Vorstellung von dem Vorhandensein der äufseren Gegenstände, dann aber auch die von der Gestalt, Farbe, Bewegung, Gröfse, Entfernung und Lage derselben.

Das Organ, welches dieses Alles vermittelt, ist das Auge. Es ist dasselbe ein natürlicher dioptrischer oder auf der Brechung des Lichtes beruhender Apparat. Aus der Kenntnifs seines Baues lassen sich dann die optischen Wirkungen desselben und aus diesen mittelbar die vorher angeführten Empfindungen erklären.

Für die Physiker ist der wichtigste Theil des Auges der sogenannte Augapfel. Es besteht derselbe aus einer fast kugelförmigen Kapsel, die aus mehren Häuten zusammengesetzt ist. Nur eine kleine Stelle des vorderen Theiles dieser Häute ist durchsichtig und läfst das Licht in das Innere des Augapfels gelangen. Dieser wird von zweierlei farblosen Flüssigkeiten erfüllt, die von einander durch

ein dazwischen liegendes Häutchen getrennt sind. In Mitte dieser Scheidewand ist eine kleine kreisrunde nung, hinter welcher sich ein durchsichtiger Körper findet, der die Gestalt einer kleinen biconvexen Linse Dieser Linse und der Lichtöffnung gegenüber tritt d den hinteren Theil der äufseren Kapselhaut der Seh und verbreitet sich auf der inneren Fläche derselben. J Augapfel liegt in einer von festen Knochen umschloss Höhle, erhält durch mehre Muskeln seine Bewegung, die Nerven beider vereinigen sich hinter demselben zu nem gemeinschaftlichen Nervenstrang.

Fig. 226 I* stellt den Durchschnitt, II* die vordere An eines Auges dar. In beiden bezeichnen gleiche Buchstaben selben Theile.

Die äufserste dicke Kapselhaut des Augapfels *abcdk* l die harte Haut, der vordere stärker gekrümmte durchsic Theil *abc* die Hornhaut (*cornea*), der gröfsere undurch tige weifse Theil *akdc* die weifse Haut (*sclerotica*). Der senförmige Körper *e*, die Krystalllinse (*lens crystall* besteht aus einer knorpeligen durchsichtigen Masse, welc einem zarten durchsichtigen Häutchen, der Linsenkap liegt. Nach der Hornhaut zu ist sie flacher als nach der deren Seite gekrümmt. Durch den sie haltenden Faltenk *gh* wird das Innere des Auges in zwei sehr ungleiche R getheilt. Der vordere kleinere Raum, die Vorderkam *alc*, ist mit der wässerigen (*humor aqueus*), der hi gröfsere Theil, die Hinterkammer *gmnh*, mit der G feuchtigkeit (*humor vitreus*) angefüllt und heifst darum der Glaskörper. Die erstere Flüssigkeit ist so dünnfl wie Wasser, die letztere gallertartig, beide sind aber fa höchst durchsichtig und unterscheiden sich in ihrem B vermögen nur wenig vom Wasser, was auch bei der Sub der Krystalllinse der Fall ist. Die weifse Haut ist auf de neren Seite des Raumes, welchen die Glasfeuchtigkeit aus mit der sogenannten Aderhaut (*choroidea*) *gmnh* bed deren innere Fläche mit einem schwarzen schleimartigen mente überzogen ist, um dadurch die Zurückwerfung des tes zu verhindern. Jene Aderhaut reicht bis zur Hornhaut bis zum Strahlenbande (*lignamentum ciliare*), aus wel der Faltenkranz besteht, der die Krystalllinse hält. Zwi letzterer und der Hornhaut befindet sich nun noch die Re

bogenhaut oder Iris (*iris*) *kla*, welche in ihrer Mitte eine kreisförmige Oeffnung, die Pupille (*pupilla*) *l* hat, die sich bei verschiedener Stärke des Lichtes verengt oder erweitert. Von aufsen gesehen, erscheint bei dem menschlichen Auge die Iris als eine Ringfläche von verschiedener Färbung. Der Sehnerv (*nervus opticus*) *f*, welcher durch die harte Haut hindurchgeht, breitet sich auf der inneren Fläche derselben als Netzhaut (*retina*) *mn* in unendlich feinen Verzweigungen aus. Der Nerv jedes einzelnen Auges vereinigt sich in einem gemeinschaftlichen Nervenstrange, der zum Gehirn läuft. — Dem menschlichen Auge ähnlich construirt sind die der warmblütigen Thiere. Durch die Section eines solchen Auges, z. B. desjenigen eines Kalbes, kann man diese einzelnen Theile sehr leicht nachweisen. (S. Gehler, phys. Wrtb. n. A. 527—553. VIII. 743—745 und Marbach, phys. Lex. I. 70—80.)

§. 343.

Die Entstehung der Bilder im Innern des Auges erklärt sich nun, nach seiner Zusammensetzung, aus den Gesetzen der Lichtbrechung. Fällt nämlich von einem leuchtenden Puncte ein Lichtkegel in's Auge, so müssen die durch die Pupille gehenden Strahlen von der Krystalllinse gerade so wie von einer biconvexen Linse gebrochen werden, d. h. sie vereinigen sich hinter dieser in einem Puncte, wobei sie zugleich auch noch eine Brechung in den beiden Flüssigkeiten vor und hinter der Linse erleiden. Nach denselben dioptrischen Gesetzen (§. 316) mufs daher auch von jedem leuchtenden oder beleuchteten Gegenstande im Innern des Auges hinter der Krystalllinse ein kleines, aber verkehrtes Bild entstehen.

Dafs im Innern des Auges ein solches Bild entstehen mufs, ergiebt sich unbestritten aus dem Angeführten; wie wir uns aber dieser Bilder selbst, so wie ihrer verschiedenen Färbung bewufst werden, diefs läfst sich mit offenbarer Gewifsheit nicht erklären, weil uns die wahre Natur des Lichtes noch ein Räthsel ist. Wahrscheinlich aber entspringt das Bewufstwerden der Bilder und ihrer Farben aus einem Reize, den das Licht auf die feinen Nervenfasern, die über die Netzhaut verbreitet sind, ausübt und der sich durch diese dem Gehirne mittheilt. Einige glauben nun, dieser Reiz werde durch die erwärmenden und

einen Augapfel etwas aus seiner Lage drückt, so wird man sogleich bemerken, dafs in dem gedrückten Auge ein neues zweites Bild entsteht, oder dafs das vorher in ihm entstandene eine andere Lage annimmt. (S. Gehler, phys. Wrtb. n. A. IV. 1471—1485; VIII. 776—780.)

§. 346.

Die Bedingungen, unter welchen das Bild eines Gegenstandes von dem Sehnerven gehörig empfunden werden kann, sind folgende: es mufs deutlich und hinreichend hell sein, gerade auf die Netzhaut fallen, eine hinreichende Gröfse haben und eine gewisse Zeit auf der Netzhaut verweilen.

§. 347.

Damit die Bilder die nöthige Deutlichkeit erlangen, ist es hauptsächlich erforderlich, dafs sie von der sphärischen Abweichung (§. 314) frei seien. Dazu trägt vorzüglich die Form der Krystalllinse, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die concave Fläche der Netzhaut bei. Die durch die Brechung entstehende Farbenzerstreuung wird zwar nicht völlig aufgehoben, sie verschwindet aber fast völlig, da sich die Bilder nur in der Axe der Krystalllinse oder doch ganz in ihrer Nähe auf der Netzhaut darstellen.

§. 348.

Die erforderliche Helligkeit besitzt das Bild dann, wenn der Gegenstand, der es hervorbringt, die gehörige Lichtmenge in's Auge sendet oder senden kann. Bei zu intensivem Lichte zieht sich daher die Pupille zusammen und läfst nur eine geringe Menge Licht in's Auge gelangen, bei sehr schwachem Lichte erweitert sie sich dagegen, um eine gröfsere Menge Licht durchzulassen. Es hat dieses jedoch seine Grenzen, und man kann weder bei zu star-

und *bc* ihre beiden Axen, die sich in *c* durchschneiden. Es entsteht daher in jedem Auge hinter der Krystalllinse ein Bild, welches der perspectivischen Projection des Gegenstandes von dem Puncte *a* und *b* aus entsprechen mufs. So wie aber diese beiden Bilder durch ihre Einwirkung auf den Sehnerv zu unserem Bewufstsein gelangen, versetzen wir sie nach *c*, dem Durchschnittspuncte der Augenaxen, wo sie, sich nun deckend, gleichsam in Verkörperlichung übergehen oder den Begriff des Körpers hervorrufen.

Um die Richtigkeit dieser Schlufsfolgen zu beweisen, gebraucht Wheatstone unter anderen ein sinnreiches und höchst einfaches Instrument, welches er Stereoskop genannt hat, wo sich die richtig perspectivischen Zeichnungen eines Körpers in zwei Spiegeln so abbilden, dafs die Augen in den entsprechenden Entfernungen von diesen dann keinesweges die beiden Spiegelbilder sehen, sondern bis zur vollkommenen Täuschung einen Körper vor sich zu haben glauben. (S. Pogg. Annal. Ergänz. Bd. p. 1, Baumgartner's Naturl. 7te Aufl. p. 629.)

Man erblickt daher einen Gegenstand auch wirklich doppelt, sobald man den Augen eine solche Stellung giebt, dafs sich ihre Axen vor oder hinter demselben durchschneiden, oder sobald nur eine von ihnen aus dem Alignement des Objectes gebracht wird. Beides bestätigen folgende Versuche.

Erster Versuch. In einer Entfernung von 6—8 Schritten stelle man ein brennendes Licht auf und betrachte es mit beiden Augen. Man wird dasselbe nur einmal sehen. Nun aber halte man einen Finger vor beide Augen in der Entfernung von 8 bis 10 Zoll und betrachte jetzt diesen genau. Sogleich wird man zu beiden Seiten des Fingers ein Licht erblicken. — Gesetzt nämlich, in Fig. 227 sei *c* der Finger und *l* das brennende Licht, so werden sich die Augenaxen nach *c* richten, um den Finger deutlich zu sehen. Die Lichtstrahlen von *l* erzeugen aber in *m* und *n* Bilder, welche nicht in den Augenaxen liegen, und in Folge dessen erblickt man zwei Lichter, das eine rechts, das andere links vom Finger.

Umgekehrt sieht man aber den Finger doppelt, sobald sich die Augenaxen nach dem Lichte richten.

Zweiter Versuch. Wenn man irgend einen Gegenstand mit beiden Augen betrachtet und nun mittels des Fingers den

zugleich deutlich sehen kann. Ein Theil dieser Veränderungen hängt jedenfalls von unserem Willen, ein anderer aber vom Lichteindrucke ab, jedoch hat auch diese Richtkraft des Auges ihre Grenzen.

Die in den §§. 343—349 erklärten Gegenstände über die Theorie des Sehens findet man ausführlich abgehandelt in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 1364—1396.

§. 350.

Die Entfernung, bei welcher wir einen Gegenstand am deutlichsten sehen, heifst die Entfernung des deutlichen Sehens oder die Sehweite und beträgt bei einem gesunden Auge 8 bis 10 Zoll. Nähere Gegenstände sieht man entweder gar nicht deutlich, oder, wenn sie nicht viel näher sind, doch nur mit einer gewissen Anstrengung des Auges.

Kurzsichtig nennt man solche Personen, die eine bedeutend kleinere, weitsichtig dagegen die, welche eine viel gröfsere Sehweite haben. Die Kurzsichtigen erhalten von den die Entfernung ihres deutlichen Sehens überschreitenden Gegenständen kein deutliches Bild, weil es vor die Netzhaut fällt, wogegen bei Weitsichtigen die Bilder der Gegenstände, welche sich in der Entfernung der Sehweite von 8 bis 10 Zoll vor dem Auge befinden, hinter der Netzhaut entstehen und dadurch ebenfalls undeutlich werden. Um diesem Fehler abzuhelfen, müssen sich erstere der Convexlinsen bedienen, welche die Lichtstrahlen etwas mehr zusammenbrechen und dadurch die Vereinigung derselben auf der Netzhaut bewirken; letztere aber müssen Concavlinsen anwenden, wodurch die Lichtstrahlen mehr zerstreut und dann ebenfalls auf der Netzhaut vereint werden.

Die Kurz- und Weitsichtigkeit entspringt meist aus dem am häufigsten statt findenden Gebrauche der Augen, nämlich daraus, ob diese vorzüglich gegen nahe oder entfernte Gegenstände

gerichtet werden. Sollen Brillengläser dazu beitragen, diese Fehler des Auges zu verbessern, so müssen sie so gewählt werden, dafs jene dadurch gerade aufgehoben werden. Diefs hängt von der Sehweite des Auges und von der Entfernung ab, in welcher man mit der Brille die Bilder der Gegenstände deutlich sehen will. Bezeichnet a die Gröfse der Sehweite, a die Entfernung, in welcher das Bild des Gegenstandes erscheinen soll, so findet man den Halbmesser r des für dieses Auge genau passenden Linsenglases bei Biconvexlinsen $\frac{1}{r} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a}$ (nach den Erläuterungen zu §. 317 p. 439 unter A. 4), bei Biconcavlinsen $-\frac{1}{r} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{a}$ (nach den Erläuterungen denselben §. unter B.).

Betrüge daher die Sehweite eines Weitsichtigen 12″, und sollte die Brille die Gegenstände in einer Entfernung von 8″ deutlich zeigen, so ist $\frac{1}{r} = \frac{1}{8} - \frac{1}{12}$, also $r = 24''$, d. h. es wäre für diesen Fall eine biconvexe Linse von 24″ Brennweite anzuwenden. — Hätte dagegen ein Kurzsichtiger eine Sehweite von nicht mehr als 4″, und wollte er nahe Gegenstände in einer Entfernung von 8″ deutlich sehen, so müfste $-\frac{1}{r} = -\frac{1}{4} + \frac{1}{8}$, also $r = 8''$ werden, d. h. es hätte sich dann derselbe biconcaver Linsengläser zu bedienen, deren Brennweite 8″ betrüge. Brillen der Art können zwar auch für entferntere Gegenstände gebraucht werden, sie schaden aber dann ohne Ausnahme dem Auge. In diesem Falle müssen dann die Halbmesser der Brillengläser nach obiger Anleitung für die gröfsere Entfernung berechnet werden.

Das auf der Netzhaut entstehende verkehrte Bild kann man nachweisen, indem man an einem frischen Ochsen- oder Kalbsauge mit einem scharfen Messer, z. B. einem Rasirmesser, von der hinteren weifsen Haut vorsichtig so viel abschneidet, dafs diese durchsichtig wird. Hält man nun in der gehörigen Entfernung die Hornhaut gegen einen hellleuchtenden Gegenstand, am befsten gegen eine Lichtflamme, so erblickt man auf der durchsichtigen Stelle der weifsen Haut ein kleines verkehrtes Bild der Lichtflamme.

Eben so lassen sich auch mittels eines künstlich construirten Auges die Wirkungen der Krystalllinse, hinsichtlich der Erzeugung verkehrter Bilder auf der Netzhaut, recht gut nachahmen und zugleich daran die Fehler der Kurz- oder Weitsichtigkeit, so wie die diese Fehler verbessernde Wirkung der verschiedenen Linsengläser nachweisen. Es besteht ein solches gewöhnlich aus einem kugelförmigen hohlen Körper *A* Fig. 228,

der den Augapfel vorstellt. Die Krystalllinse bildet ein in ei Oeffnung eingesetztes Convexglas *K* von entsprechender Brei weite, über welchem eine angebrachte Blendung die Iris v stellt. Dieser Linse diametral gegenüber wird eine verschi bare Röhre eingesetzt, deren äufsere Oeffnung ein matt schliffenes Glas *n* schliefst, welches die Stelle der Netzh vertritt. Die Hornhaut kann durch ein vor der Convexli angebrachtes Uhrglas *h* repräsentirt werden. Der Gebra eines solchen Apparates ergiebt sich schon aus der Beschre ung. — Fällt das Bild vor die künstliche Netzhaut *n*, so ka man es auf derselben deutlich erscheinen lassen, wenn man die künstliche Krystalllinse ein gehörig hohl geschliffenes Gl bringt; fällt es dagegen hinter dieselbe, so wird man, um d selben Zweck zu erreichen, auf gleiche Weise ein Convexgl anwenden müssen.

Bisweilen ereignet es sich auch, dafs die Netzhaut the weise oder in ihrer ganzen Ausdehnung unempfindlich geg Lichteindrücke wird. Es ist diefs derjenige unheilbare Kra heitszustand des Sehorgans, den man den schwarzen Sta nennt. Eine andere Krankheit des Auges, der graue Staa besteht darin, dafs die Krystalllinse ihre Durchsichtigkeit v liert, also das Licht entweder gar nicht, oder doch nur se spärlich auf die Netzhaut gelangen läfst. Diese Krankheit wi dadurch geheilt, dafs man die Linse entweder ganz hera nimmt, oder auch nur auf die Seite schiebt, und sich dann Ersatz der Krystalllinse, einer sogenannten Staarbrille mit sta convexen Linsen, bedient. (S. Gehler's phys. Wtrb. IV. 13 —1434, VIII. 750—758 und Marbach's phys. Lex. II. 660.)

§. 351.

Wenn das auf der Netzhaut entstandene Bild deutli wahrgenommen werden soll, so mufs es noch eine gewis Gröfse haben, die von der Beschaffenheit des Auges, wie von der Helligkeit und Färbung des Gegenstandes a hängt. Für ein gewöhnliches Auge mufs das Bild ein mäfsig beleuchteten Gegenstandes noch 0,001 Zoll la sein, oder die äufsersten Lichtstrahlen müssen unter eine Winkel von ungefähr $\frac{1}{2}$ Min. in's Auge fallen, wora sich ergiebt, dafs man einen mäfsig erleuchteten Gegenstan noch sehen wird, wenn er 6800- bis 6900mal so weit v uns entfernt ist, als seine gröfste Längenausdehnung beträ

Stark leuchtende Gegenstände, wie z. B. die Fixsterne, sind bei verschwindend kleinen Sehwinkeln noch sichtbar; sie erzeugen dann aber einen bloßen Lichtreiz im Auge, und ihre sichtbare Größe läßt sich nicht bestimmen.

Plateau will Weiß im Sonnenlichte bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″ Sehwinkel noch deutlich unterschieden haben, wogegen im gewöhnlichen Tageslichte jeder Winkel etwa um ½ größer war. (S. Pogg. Annal. XX. 328.)

§. 352.

Jeder Lichteindruck erfordert eine gewisse Zeit, um empfunden zu werden, und dauert dann im Auge, nachdem er vorüber ist, auch noch einige Zeit fort, ehe er völlig verschwindet. Diese Dauer hängt, unter übrigens gleichen Umständen, von der Farbe ab; am längsten hält Weiß an, dann folgen Gelb, Roth und Blau. Die mittle Dauer aller Farben, vom Augenblicke der größten Intensität bis zu ihrem völligen Verschwinden, beträgt in einem dunkelen Zimmer $\frac{1}{3}$, in einem erhellten $\frac{1}{8}$ Secunde. Wenn zwei oder mehr Lichteinwirkungen so schnell auf einander folgen, daß der erste noch fortdauert, während die anderen beginnen, so fließen sie in einander, und es scheint, als ob das Auge nur einen einzigen, aus diesen combinirten, fortdauernden Lichteindruck erhalte.

Hierauf beruhen die mancherlei Täuschungen und Erscheinungen, wenn wir einen schnell bewegten Körper an mehren Orten zugleich sehen; z. B. der Blitz gleicht einem zusammenhängenden Lichtstrahle; eine schnell im Kreise umgeschwungene glühende Kohle bildet einen zusammenhängenden Lichtkreis; Feuerkugeln und Sternschnuppen scheinen ununterbrochene Lichtstreifen zu bilden, und ganz ähnliche Wirkungen bringen auch die Raketen und Feuerräder hervor. Ferner beruhen ebenfalls hierauf die überraschenden und artigen Wirkungen des Thaumatrops (*wonderturner*) und der von Stampfer in Wien 1833 erfundenen sogenannten Zauberscheiben oder stroboskopischen Scheiben, so wie auch die Erscheinungen der Newton'schen Farbenspindeln (§. 329) ihren Grund darin haben. — Geht aber ein wenig intensiver

Lichteindruck vorüber, so gewahrt man gar nichts von ihm; deshalb sieht man auch eine abgeschossene Flinten- oder Kanonenkugel nicht in ihrem Fluge. (S. Gehler's phys. Wrtbr. n. A. IV. 1456—1463; VIII. 766—776.)

§. 353.

Zu dem Begriffe der wahren Gröfse der Gegenstände, zu dem ihrer Entfernung und Lage, so wie zu dem ihrer Bewegungen, gelangen wir nur durch Urtheile, an welche wir von Kindheit an gewöhnt wurden, und durch darauf beruhende Schlufsfolgen. Daraus erklärt sich auch, dafs in dieser Beziehung so oft Täuschungen eintreten, dafs sich durch häufige Uebung diese Urtheilskraft schärfen läfst, und endlich, dafs kleine Kinder, so wie Blindgeborene, welche sehend werden, diesen Gebrauch der Augen noch ganz entbehren.

Die wahre Gröfse eines Gegenstandes beurtheilen wir nach der scheinbaren Gröfse, in welcher wir denselben erblicken, oder nach dem Winkel, unter welchem sich seine Lichtstrahlen im Auge durchschneiden. Dieser Winkel heifst der Sehwinkel, Gesichtswinkel oder optische Winkel, und eigentlich ist es der Winkel, unter welchem wir die Ausdehnung der uns zugewendeten Fläche eines Gegenstandes erblicken. Befinden sich in gleicher Entfernung vom Auge zwei Gegenstände von verschiedener Gröfse, so hat der gröfsere auch einen gröfseren Sehwinkel, haben sie aber eine ungleiche Entfernung, so können sie uns auch unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen.

Befindet sich z. B. in Fig. 229 der Gegenstand *bc* und *bd* in gleicher Entfernung vom Auge *a*, so erblickt dasselbe *bc* unter dem gröfseren Gesichtswinkel *bac*, und *bd* unter dem kleineren *bad*; nähert sich aber *bd* bis *b'd'*, so sieht das Auge beide Gegenstände unter demselben Gesichtswinkel.

Nennt man den Sehwinkel α, die senkrechte Höhe eines Gegenstandes h und seine Entfernung e, so ist:

$$\frac{h}{e} = tg.\ \alpha;\ \text{oder}\ h = e.\ tg.\ \alpha\ \text{und}\ e = h\ cotg.\ \alpha$$

der mathematische Ausdruck für die wahre Gröfse und Entfernung des Gegenstandes.

Wie schon erwähnt wurde, versetzen wir das in unseren Augen erzeugte Bild der Gegenstände durch ein Vermögen, dessen wir uns selbst dabei nicht bewufst werden, in eine gewisse Entfernung vor die Augen. Alles aber, was wir über die wahre Entfernung eines gesehenen Gegenstandes von uns wissen, ist einzig Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die sich mit der Entfernung der Gegenstände vom Auge ändern, geleitet wird. Diese Empfindungen bestimmen sich folgendermafsen:

1.) Durch den Gesichtswinkel, sobald uns die wahre Gröfse des Gegenstandes schon bekannt ist.

Bei einem Gegenstande von bekannter Gröfse, z. B. der eines Menschen, schliefsen wir aus der Abnahme der Gröfse des Gesichtswinkels auf die Zunahme von dessen Entfernung.

2.) Nach dem Winkel, den die Augenaxen, indem sie sich auf den Gegenstand richten, an ihrem Zusammentreffpuncte bei dem Gegenstande bilden, dem sogenannten parallaktischen Winkel. Dieser Winkel wird ebenfalls um so gröfser, je näher uns der Gegenstand ist.

Befindet sich Fig. 227 ein Gegenstand in c, so ist für diese Entfernung der parallaktische Winkel x; entfernt er sich aber bis l, so wird er gleich y, und dann ist y offenbar kleiner als x.

3.) Nach der Helligkeit des Gegenstandes; nimmt diese ab, so scheint seine Entfernung zu wachsen.

Hierauf haben das Tageslicht, der Stand der Sonne und die Reinheit der Luft einen wesentlichen Einfluss, weshalb in dieser Beziehung unser Urtheil oftmals Täuschungen unterworfen ist.

4.) Durch die Menge der zwischen dem Auge und dem Gegenstande befindlichen Dinge, in-

dem wir nämlich durch inductive Schlufsfolgen aus den Abständen der näheren Gegenstände die der ferneren ableiten.

Fehlt uns auf gröfsere Entfernungen ein bekannter Zwischenmafsstab, z. B. wenn man über grofse Ebenen hinwegsieht, worauf sich keine oder nur wenige Gegenstände befinden, eben so über breite Wasserflächen, so treten in der Abschätzung der Entfernungen oft Irrungen ein, indem uns diese gewöhnlich kleiner erscheinen, als sie wirklich sind.

5.) Nach der Lage, welche der Gegenstand gegen andere Dinge hat, deren Entfernung uns bekannt ist, indem uns dann diese bekannten Entfernungen als Mafsstab dienen, um darnach die unbekannten zu beurtheilen.

Je mehr von diesen angeführten Einwirkungen des Lichtes auf unser Urtheil über die Entfernung der Gegenstände Einfluſs haben, desto richtiger wird auch dasselbe ausfallen. Bei nahen Gegenständen wirken meist alle erwähnte Puncte zusammen und gewähren uns daher eine gröfsere Sicherheit des Urtheils; je gröfser aber die Entfernung wird, desto mehr sieht man sich dieser Hilfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewisse Grenze übersteigt, nichts übrig bleibt, worauf wir unser Urtheil stützen können.

Durch dieselben Hilfen vermögen wir auch die Entfernungen der Gegenstände unter sich oder ihre Lage zu beurtheilen. Der Gesichtswinkel, den dann die Lage der Gegenstände in unserem Auge bildet, oder um wieviel die Bilder der Gegenstände auf unserer Netzhaut von einander entfernt sind, ist dafür der Hauptmafsstab, und je mehr sich dieser innerhalb einer mittlen Gröfse hält, desto genauer wird auch in der Regel unser Urtheil ausfallen können.

Der Soldat kommt oft in die Lage, von dem sogenannten Augenmafse, nämlich von der Schätzung der Entfernung

der Gegenstände unter sich oder von seinem Standpuncte Gebrauch zu machen. Für ihn ist es daher besonders wichtig, sein Auge in dieser Beziehung zu schärfen und zu üben. Die meiste Gelegenheit, die Richtigkeit seines Urtheils in dieser Hinsicht mit der Wahrheit zu vergleichen, findet er bei'm Aufnehmen mit dem Meſstische, weshalb man auch diese Gelegenheit nie unbenutzt lassen darf, um sein Augenmaſs danach zu prüfen und zu vervollkommnen.

Bewegungen der Gegenstände beurtheilen wir nach den Bewegungen des Bildes auf der Netzhaut. Sie müssen eine gewisse Geschwindigkeit haben, wenn sie als solche empfunden werden sollen. Im Mittel kann man dafür bei einem gesunden Auge annehmen, daſs das Bild in einer Secunde Zeit ungefähr um einen Bogen oder Gesichtswinkel von einer Minute fortrücken muſs.

Hieraus erklärt sich auch, warum wir manche Bewegungen als solche nicht wahrnehmen, wie z. B. die Bewegungen des Stundenzeigers an einer Uhr, oder die Bewegungen der Himmelskörper. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 1434—1456.)

Von den subjectiven Farben.

§. 354.

Subjective, zufällige oder auch physiologische Farben nennt man — als Gegensatz zu denjenigen, welche den Körpern dauernd angehören, und die deshalb objectiv heiſsen — solche, die nur vorübergehend an Gegenständen bemerkt werden, oder die als Farbenbild auf der Netzhaut entstehen, wenn wir die Gegenstände gar nicht mehr sehen. Sie werden ebenfalls durch äuſsere Lichteindrücke und zwar unter zweierlei Umständen hervorgerufen, nämlich wenn das Auge durch Einwirkung von weiſsem oder farbigem Lichte eine Zeit lang lebhaft afficirt worden ist, und durch den Gegensatz oder Contrast einer Farbe, wenn weiſses oder Tageslicht dazu kommt. Im Wesentlichen besteht die Erscheinung darin, daſs der erstere stärkere Lichteindruck nachher im Auge seinen

Gegensatz hervorruft, d. h. weifses Licht, oder im A meinen Helligkeit, erzeugt subjectiv Schwarz oder Du heit, und die Farbe bewirkt subjectiv die Entstehun complementären Farbe.

Beispiele solcher Erscheinungen durch intensiven Lic

Erster Versuch. Betrachtet man irgend eine sch Figur auf einer weifsen Papierfläche, welche von der beschienen ist, eine Zeit lang unverwandt mit beiden Auge kehrt man diese dann gegen eine graue oder schwach er tete Wand, oder hält man die Augen mit einem Tasche zu, so wird uns nun dieselbe Figur weifs auf grauem G erscheinen. — Das Umgekehrte findet statt, wenn mar weifse Figur auf schwarzem Grunde betrachtet hat.

Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich, wenn man ein lang durch ein Fenster gegen weifse Wolken gesehen ha dann die Augen mit einem Taschentuche zuhält. Man e nachher die vorher dunkelen Fensterkreuze hell auf d lem Grunde.

Zweiter Versuch. Legt man auf gleiche Weise farbigen Gegenstand, z. B. eine rothe Oblate oder noch ein Stückchen rothes Band, auf ein Blatt weifses Papier betrachtet dasselbe eine Zeit lang so genau, dafs man die zu zählen sich bemüht, so wird das Auge, nachdem m Band schnell entfernt hat, an dessen Stelle eine grüne als complementäre Farbe erblicken.

Wenn man bei diesem und dem vorigen Versuche sic des Papiers einer weifsen Porzellanplatte bedient, so ersc die subjectiven Farben weit schöner und reiner, wie Dr. ger zuerst beobachtet hat.

Dritter Versuch. In einem finsteren Zimmer verl man eine kleine Quantität Rothfeuer. So wie das Feue löscht ist, wird den Augen eine gewöhnliche Lichtflamm erscheinen, und eben so wird man bei Verschliefsung de gen ein grünes subjectives Lichtbild erblicken. — Das kehrte findet statt, wenn man Grünfeuer abbrannte. — ähnliche Erscheinung erhält man, nachdem man eine Zei die untergehende rothe Sonnenscheibe angesehen hat.

Dafs diese nachher zum Vorschein kommenden Farben subjectiver Natur sind, läfst sich daraus folgern, weil, man das eine Auge verschlofs, während das andere den eindruck erhielt, auch nur in diesem, aber nicht in den schlossen gehaltenen, sich die Erscheinung zeigt.

Vierter Versuch. Hat man eine Zeit lang dur farbiges, z. B. violettes, Glas eine Gegend betrachtet,

scheint uns diese, nachdem man das Glas vom Auge entfernt, wie von der Sonne beschienen.

Beispiele subjectiver Lichterscheinungen durch Contrast:

Fünfter Versuch. Farbige Schatten. In den Fensterladen eines verfinsterten Zimmers bringe man zwei viereckige Oeffnungen von ungefähr 4 bis 6 Zoll Weite in einem horizontalen Abstande von 1½ bis 2 Fufs an. Die eine Oeffnung verschliefse man durch eine farbige Glasscheibe, die andere aber mittels eines undurchsichtigen Schiebers. — Läfst man durch die erste Oeffnung nur farbiges Licht auf einen Stab fallen, so wirft dieser auf eine hinter ihn gestellte weifse Fläche einen schwarzen Schatten, während die übrige Fläche in der Farbe des durch das Glas gegangenen Lichtes erscheint. Läfst man auf gleiche Weise durch die andere Oeffnung nur das weifse Tageslicht fallen, so wirft der Stab auch einen schwarzen Schatten auf der übrigens weifs bleibenden Fläche. Wenn aber zu gleicher Zeit durch die eine Oeffnung farbiges, durch die andere weifses Licht einfällt, so wirft der Stab von jeder Lichtquelle einen Schatten, beide Schatten sind aber dann nicht mehr schwarz, sondern farbig, und zwar erscheint der Schatten, welcher vom Tageslichte geworfen wird, in der Farbe der Glastafel, während der Schatten, der vom farbigen herrührt und vom Tageslichte erhellt wird, die complementäre Farbe zeigt. — So erzeugt eine grüne Glastafel grünen und rothen, eine orangegelbe einen orangegelben und blauen Schatten etc. — Die Gröfse der Oeffnung, durch welche das Tageslicht einfällt, mufs man mittels des Schiebers reguliren.

Auf eine einfachere Art erhält man auch auf folgende Weise farbige Schatten. Durch eine schmale Oeffnung lasse man in ein Zimmer Tageslicht einfallen und von einem undurchsichtigen Körper einen Schatten auf eine weifse Fläche werfen. Bringt man dann ein angezündetes Licht oder eine Lampe in die gehörige Entfernung von dem schattenwerfenden Körper, so dafs dieser noch einen Schatten wirft, so erscheint der letztere blau, der erstere orangegelb. — Der vom Tageslicht geworfene Schatten wird nämlich von dem orangegelben Lichte der Lichtflamme erhellt, weshalb also der vom Lichte entstandene in der Ergänzungsfarbe erscheinen mufs.

Sechster Versuch. Complementäre Farbenbilder durch doppelte Spiegelung. Man lege eine farbige, z. B. grüne, Glastafel auf einen gewöhnlichen Glasspiegel; besser aber ist es noch, zwischen beiden einen kleinen Abstand von ungefähr ¼ Zoll zu lassen. Bringt man zwischen Spiegel und Glas ein schwarzes Papier, so kann nur die vordere Fläche des farbigen Glases spiegeln; entfernt man aber das schwarze Papier,

so erhält man ein doppeltes Spiegelbild, nämlich von vorderen Glasfläche und von der dahinter befindlichen Spi fläche. — Bringt man nun ein Blatt weifses Papier, auf sich irgend eine schwarze Figur befindet, vor die Glasfl während sich zwischen ihr und dem Spiegel das schw Papier befindet, so spiegelt sich die Zeichnung gerade so, in einem schwarzen Glasspiegel, nämlich die weifse F erscheint weifs, die schwarze schwarz. So wie man aber schwarze Papier entfernt, so geht das Licht durch das g Glas, und die hintere Spiegelfläche reflectirt ein grünes l das Bild der vorderen Glasfläche aber, welches vorher v war, erscheint nun in der complementären Farbe, nämlich — Ganz entsprechende Erscheinungen erhält man, sobald statt der grünen Glastafel eine gelbe oder blaue vor Spiegel bringt. (S. Poggendorf's Annal. XLIV. 221 u. 513

Die Erklärungen dieser Phänomene sind bis jetzt noch so vielfach als ungenügend. Ziemlich einfach und natü erscheint folgende Erklärung von Petrini. Jeder Nerv erm nämlich durch einen lange anhaltenden Eindruck auf densel und jeder schwächere Lichteindruck verschwindet oder v weniger lebhaft empfunden, wenn er von einem anderen s keren begleitet ist. Erhält daher das Auge einen intens Lichteindruck von einem gewissen farbigen Lichte, so schwindet die Empfindung dieser Farbe aus dem schwäch weifsen Lichte, und es bleibt daher nur die complementäre Eindruck zurück. Kurz, wird das Auge von einer vorherrsch den Farbe afficirt, so sieht es zugleich die Ergänzungsfarbe, so wie bei einer angeschlagenen Saite das Ohr mit dem Gr ton auch den harmonischen wahrnimmt (S. Gehler's p Wrth. n. A. VIII. 756—762; Marbach's phys. Lex. II. —384.)

XI. Von den vorzüglichsten optische Instrumenten.

1.) Die dunkele Kammer oder *Camera obscura.*

§. 355.

Die dunkele Kammer oder *Camera obscura* ist finsterer Raum, entweder ein verfinstertes Zimmer o ein von allen Seiten verschlossener, inwendig schwar Kasten, in welchen das Licht äufserer Gegenstände du eine Convexlinse einfällt. Diese erzeugt nun durch

Vereinigung der durch sie gegangenen Lichtstrahlen ein verkehrtes Luftbild der äufseren Gegenstände (§. 319), das in dem Vereinigungspuncte der gebrochenen Lichtstrahlen von einer weifsen Fläche aufgefangen wird.

Um das Bild an einer vertikalen Wand aufrecht zu erhalten, dient, nach Horner, ein rechtwinkeliges Prisma, welches die durch die Convexlinse gegangenen Lichtstrahlen von seiner als Spiegel wirkenden Hypothenusenfläche nochmals und zwar in entgegengesetzter Richtung bricht.

Ist *ABC* Fig. 230 das Prisma und sind *ma* und *nd* zwei der durch das Convexglas gegangenen Lichtstrahlen, welche das verkehrte Bild *mn* erzeugen würden, so wird *ma*, wie die Figur zeigt, durch das Prisma in der Richtung *abcm'* gebrochen, und *nd* in der Richtung *dfgn'*, woraus sich dann ergiebt, dafs das Bild *m'n'* das umgekehrte von *mn* sein mufs.

Soll aber das Bild auf einer horizontalen Fläche entstehen, so dient dazu ein Planspiegel, der, unter 45° gegen die Axe der Linse geneigt, die durch diese gegangenen Lichtstrahlen aufwärts oder abwärts reflectirt. Im ersteren Falle fängt man dann das Bild gewöhnlich mittels einer matt geschliffenen Glastafel auf, durch welche es dann hindurchscheint und von aufsen betrachtet werden kann. Diese Apparate haben den Namen *Camera clara* erhalten. Bei'm zweiten Falle aber wird gewöhnlich eine weifse Papierfläche zur Aufnahme des Bildes in horizontaler Lage unter dem Spiegel angebracht, und dann mufs man sich in dem dunkelen Raume selbst befinden, oder von aufsen durch eine angebrachte Oeffnung auf die Bildfläche sehen können.

Die durch die *Camera obscura* hervorgebrachten Bilder sind die getreuesten Abbildungen der Gegenstände, sowohl hinsichtlich der Umrisse, als auch der Farben und der Beleuchtung, wobei sie überdiefs noch den eigenthümlichen Reiz haben, dafs sie lebendig sind, d. h. dafs die Bewegungen der äufseren Gegenstände eben so auch in dem Bilde

vor sich gehen. Sie stellen sonach, nur in vergrößertem Maßstabe, die Erscheinungen eben so dar, wie sie auf der Netzhaut unseres Auges eintreten, oder sind eigentlich eine künstliche Nachbildung des Auges.

Warum in der *Camera obscura* nahe und ferne Gegenstände sich nicht zu gleicher Zeit vollkommen deutlich darstellen können. — Was für eine Einrichtung dieselbe deshalb erhalten müsse. — Soll das Bild in seiner ganzen Ausdehnung vollkommen deutlich erscheinen, so muß die auffangende Fläche concav gekrümmt sein. Warum? — Vorzüge eines achromatischen Convexglases. — Weshalb bei diesen Apparaten Metallspiegel den Vorzug vor den gewöhnlichen Glasspiegeln verdienen. — Chevalier's rechtwinkeliges Prisma mit einer convex geschliffenen Kathetenfläche als Ersatz des Convexglases und des Spiegels.

Joh. Bapt. Porta war im 16. Jahrhundert der Erfinder dieses optischen Apparats. — Ein in seiner Einrichtung abweichender Apparat dieser Art ist die sogenannte *Camera lucida* von Wollaston. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. 30—34; Marbach's phys. Lex. III. 184—188.)

2.) Von den vorzüglichsten Arten der Mikroskope.

§. 356.

Ein Mikroskop dient dazu, nahe, gewöhnlich sehr kleine Gegenstände, deren Umrisse und einzelne Theile man in der Entfernung des deutlichen Sehens nicht mehr unterscheiden kann, dem Auge größer oder vergrößert darzustellen. Dieses geschieht durch Vergrößerung des Gesichtswinkels; denn jeder Gegenstand erscheint uns um so größer, je größer der Gesichtswinkel desselben wird, daher auch je näher er sich dem Auge befindet (§. 353). Diese Annäherung erreicht ihre Grenze in der deutlichen Sehweite (8—10 Zoll §. 350). Bringt man einen Gegenstand dem Auge näher, so vergrößert sich dessen Sehwinkel und Bild im Auge, bei zu großer Annäherung wird aber dasselbe undeutlich, weil es dann hinter die Netzhaut fällt.

Versuch. In ein Kartenblatt steche man mit einer Nähnadel ein kleines Loch und bringe dasselbe, gegen ein Fenster gerichtet, dicht vor's Auge. Hält man jetzt in der Entfernung der deutlichen Sehweite die Nähnadel vor die Oeffnung, so dafs man ihr Oehr deutlich sehen kann, so wird man bemerken, dafs sich das Bild der Nadel immer mehr vergröfsert, je näher man diese der Oeffnung bringt, und dafs zuletzt, wenn sie ganz nahe ist, die Begrenzung des Nadelöhrs undeutlich wird.

Das einfache Mikroskop besteht aus einer Convexlinse von kurzer Brennweite. Betrachtet man durch eine solche einen Gegenstand, der sich noch innerhalb der Brennweite, aber nahe an ihrem Brennpuncte befindet, so werden die durch die Linse gegangenen Lichtstrahlen convergirender, und ein Auge, in welches dieselben fallen, erblickt nun den Gegenstand unter einem gröfseren Gesichtswinkel, oder vergröfsert.

Ein Auge *a* Fig. 231 würde den Gegenstand *bc* unter dem Gesichtswinkel *bac* erblicken. Bringt man aber zwischen dieses und den Gegenstand, in der oben angegebenen Entfernung, die Convexlinse *m*, so werden durch diese (nach §. 316) die Lichtstrahlen so, wie die Figur zeigt, gebrochen, und das Auge erblickt nun den Gegenstand unter dem gröfseren Gesichtswinkel *BaC* und jenen selbst vergröfsert wie *BC*.

Das auf diese Weise erscheinende Bild des Gegenstandes wird gleichsam in die Entfernung des deutlichen Sehens vom Auge versetzt, nämlich in die Entfernung von 8 bis 10 Zoll. Ein kurzsichtiges Auge mufs den Gegenstand näher an das Glas bringen, ein weitsichtiges ihn mehr davon entfernen; daher erscheint er diesem mehr vergröfsert als jenem. Die lineare Vergröfserung einer solchen mikroskopischen Linse ist nahe so vielfach, als die Brennweite derselben in der Entfernung des deutlichen Sehens enthalten ist.

Da nach Vorigem die Entfernung *bm* Fig. 231, in welcher der Gegenstand *bc* vor die Linse zu bringen ist, der Brennweite derselben nahe gleich sein mufs, um durch sie die stärkste Vergröfserung zu erhalten, und *Bm* die Entfernung des deutlichen Sehens wäre, in welcher dem Auge dann das vergröfserte Bild

BC erscheint, so ergiebt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke bcm und BCm, daſs

$$BC : bc = Bm : bm,$$

$$\text{folglich } BC = \frac{Bm}{bm} \cdot bc.$$

Setzt man daher die Gröſse des Objects bc gleich 1, dessen Abstand vom optischen Mittelpuncte der Linse bm, welcher der Brennweite beinahe gleich ist, p, und die Weite des deutlichen Sehens $Bm = w$, so ergäbe sich hiernach die Vergrößerung $v = \frac{w}{p}$, d. h. sie wäre so vielmalig als die Brennweite der Linse in der des deutlichen Sehens enthalten ist. Streng genommen bestimmt sich aber auf diese Weise die Vergrößerung etwas kleiner, als sie in der Wirklichkeit stattfindet. Man hat sich nämlich den Vorgang der Erscheinung so vorzustellen, als sähe das Auge das durch die Brechung der Linse entstehende Bild in der Entfernung des deutlichen Sehens als geometrisches Bild vor derselben Seite der Linse, wo sich der Gegenstand befindet. Dann ist nach den dem §. 317 beigefügten mathematischen Ableitungen, wenn wieder bm der Abstand des Gegenstandes vom optischen Mittelpuncte m, Bm die Vereinigungsweite oder die Entfernung des entstehenden Bildes von m ist, nach der Gleichung 1. S. 438

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}, \text{ hier also:}$$

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{bm} + \frac{1}{Bm}$$

Da nun aber das Bild, welches das Auge erblickt, eine in Bezug auf den bei der Ableitung jener Gleichung angenommenen Ort des Bildes gerade entgegengesetzte Lage hat, so muſs α oder Bm negativ genommen werden, woraus nun folgt, daſs

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{bm} - \frac{1}{Bm}$$

$$\text{oder } \frac{Bm}{p} = \frac{Bm}{bm} - 1 \text{ und}$$

$$\frac{Bm}{bm} = \frac{Bm}{p} + 1,$$

so wie, wenn dafür die oben angenommenen Gröſsen substituirt werden,

$$v = \frac{w}{p} + 1 \text{ wird.}$$

Unter der Voraussetzung, daſs das Auge der Linse möglichst nahe stehe, und daſs die Dicke derselben vernachlässigt werden kann, ergiebt sich mithin, daſs die Zahl der linearen Vergrößerung

um die Einheit gröfser als der Quotient der Brennweite der Linse in die deutliche Sehweite ist.

Eine Linse von 1 Zoll Brennweite giebt hiernach für ein Auge von 8 Zoll Sehweite eine 9malige, für eines von 9 Zoll Sehweite eine 10malige, und für eines von 10 Zoll Sehweite eine 11malige Vergröfserung der Längenausdehnung. Bei 10 Zoll Sehweite mufs man daher auch durch eine Linse von ½ Zoll Brennweite eine 21malige, bei einer von ¼ Zoll Brennweite eine 41malige, und bei einer von 0,1 Zoll Brennweite eine 201malige lineare Vergröfserung erhalten. Die Flächenvergröfserung bei diesen verschiedenen Linsen würde dem Quadrate der linearen Vergröfserung gleich sein.

Convexlinsen von 3 bis ½ Zoll Brennweite pflegt man Loupen zu nennen; ist aber die Brennweite kleiner, so heifsen sie einfache Mikroskope. — Kleine Glaskugeln und selbst Wassertropfen wirken als einfache, stark vergröfsernde Mikroskope. — Eine aplanatische Linse besteht aus einer Verbindung zweier Linsen, deren vier Oberflächen solche Krümmungen haben, dafs nicht nur die Farbenzerstreuung, sondern auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt aufgehoben wird. (S. Gehler's phys. Wrtbr. n. A. VI. 2187—2213.)

§. 357.

Das zusammengesetzte Mikroskop besteht aus mehren Convexlinsen oder aus Hohlspiegeln und Linsen. Erstere heifsen dioptrische, letztere katoptrische Mikroskope.

Das einfachste zusammengesetzte dioptrische Mikroskop besteht aus zwei Convexlinsen. Die dem Objecte zunächst befindliche Linse von sehr kurzer Brennweite heifst das Objectivglas. Der zu betrachtende Gegenstand befindet sich aufserhalb der Brennweite, aber nahe am Brennpuncte dieser Linse, und erzeugt daher hinter ihr ein vergröfsertes, aber verkehrtes Luftbild (§. 316, 5). Die zweite Convexlinse von etwas gröfserer Brennweite, durch welche man mit dem Auge sieht, heifst das Ocularglas. Sie steht mit ihrer Axe in der des Objectivglases hinter diesem, und zwar in einer solchen Entfernung, dafs das durch sie sehende Auge das verkehrte Luftbild gerade so wie durch

ein einfaches Mikroskop betrachtet. — Die lineare Vergrößerung dieser Mikroskope ist dem Producte der Vergrößerung des Objectiv- und Ocularglases gleich.

Bei den katoptrischen Mikroskopen vertritt die Stelle des Objectivglases ein Hohlspiegel, welcher wie jenes das verkehrte Luftbild erzeugt (§. 300, 4).

Die Fig. 232 stellt die Wirkung eines solchen Mikroskopes dar. — ab ist das Object, B das Objectivglas, a^1b^1 das durch dieses hervorgebrachte vergrößerte und verkehrte Luftbild, C das Ocularglas, und a^2b^2 das durch dieses nochmals vergrößerte Luftbild, welches das Auge unter dem Gesichtswinkel a^2Ab^2 erblickt.

Ist hierbei die Vergrößerung des Objectivglases z. B. 20malig, so daſs $a^1b^1 = 20\ ab$, und die Vergrößerung des Ocularglases 5malig, so daſs $a^2b^2 = 5\ a^1b^1$, so muſs dann $a^2b^2 = 20.\ 5 = 100\ ab$ sein, oder das Auge erblickt den Gegenstand unter einem 100mal größeren Gesichtswinkel. — Die Flächenvergrößerung ergiebt sich aus dieser linearen Vergrößerung eben so wie bei den einfachen Mikroskopen.

Ungefähr läſst sich, wie Dr. August angiebt, die Vergrößerung eines solchen Mikroskops auf folgende Weise messen. Man bringt einen Gegenstand von bekannter Größe vor das Objectivglas, sieht mit dem einen Auge durch das Mikroskop, mit dem anderen nach den Spitzen eines Zirkels, den man in der Sehweite vor das andere Auge hält. Alsdann entfernt man die Zirkelspitzen so weit von einander, als der durch das Mikroskop gesehene Durchmesser des Objects beträgt. Diese Weite dividirt durch den wahren Durchmesser des Objects, beide nach demselben Maſsstabe gemessen, giebt die Vergrößerung an.

Vortheile der achromatischen und aplanatischen Objectivlinsen — Mikroskope mit mehr als zwei Convexlinsen, Campani's Collectivlinse — Zweck der Erleuchtungsspiegel und Erleuchtungslinsen, so wie der Blendungen zwischen den Linsengläsern.

In der neuesten Zeit fertigten Folgende die vorzüglichsten Mikroskope, Amici in Modena (katoptrische), Fraunhofer in München, Plöſsl in Wien, und Pistor und Schiek in Berlin.

§. 358.

Das Sonnenmikroskop und Lampenmikroskop sind Apparate, durch welche ein zu vergrößernder, stark beleuchteter kleiner Gegenstand mittels einer Convexlinse

von kurzer Brennweite als verkehrtes Luftbild an einer weifsen Wand abgebildet wird. Die Bilder dieser Mikroskope sind also objectiv, während die der vorher beschriebenen nur subjectiv erscheinen, und die Vergröfserung wird hier allein durch die kleine Objectivlinse von kurzer Brennweite bewirkt. Es befindet sich nämlich das hellerleuchtete Object, wie bei dem zusammengesetzten Mikroskop, ganz nahe am Brennpuncte aufserhalb der Brennweite. Die durch die Linse gehenden Lichtstrahlen desselben werden daher (nach §. 316, 5) so gebrochen, dafs sie in einer bestimmten Entfernung von derselben ein verkehrtes Luftbild erzeugen. Die Entfernung und das Bild wird um so gröfser, je näher der Gegenstand dem Brennpuncte der Objectivlinse steht, und die lineare Vergröfserung ist der Entfernung des Bildes von der Linse, dividirt durch deren Brennweite, proportional, oder so vielfach, als der ausmefsbare Durchmesser des Luftbildes gröfser ist als der bekannte des Objects. Bei hinlänglichem Lichte kann sie daher bedeutend stärker als bei gewöhnlichen Mikroskopen ausfallen.

Zur Erleuchtung des Objects dient bei'm Sonnenmikroskop das Sonnenlicht, bei'm Lampenmikroskop aber Lampenlicht, und in neuester Zeit hat man dazu auch das intensive Licht des durch die Flamme des Knallgasgebläses zum Glühen gebrachten Kalkes benutzt, weshalb letztere Mikroskope auch Hydrooxygengas-Mikroskope heifsen. (S. Pogg. Annal. X, 547.) — Es ist nämlich die Lichtintensität des glühenden Kalkes so bedeutend, dafs ein Cylinder von ½ Zoll Durchmesser ein Licht verbreitet, welches 153mal stärker ist als das einer Wachskerze. — Um aber den Gegenstand recht intensiv zu erleuchten, dient noch eine gröfsere Convexlinse, durch welche die Lichtstrahlen der Sonne, der Lampe oder des glühenden Kalkes so zusammengebrochen werden, dafs sie sich da

vereinen, wo sich das Object befindet. Man nennt d
Glas daher die Collectiv- oder Erleuchtungs-L

Die Zauberlaterne oder *Laterna magica* hat gan
Construction eines Lampenmikroskops und dient bekan
dazu, auf Glastafeln durchsichtig gemalte Gegenständ
vergröfsern.

Ausführlichere Beschreibungen dieser optischen Instrum
s. in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 2187—2281 und B
bach's phys. Lex. III. 697—719.

3.) Von den verschiedenen Arten der Fernröhr

§. 359.

Der Zweck der Fernröhre ist im Allgemeinen
selbe, wie der der Mikroskope, nämlich der, Gegenstände
Auge unter einem gröfseren Gesichtswinkel oder vergrö
darzustellen. Ihr Unterschied besteht aber darin,
Fernröhre dazu bestimmt sind, entfernte und deshalb
Auge sehr klein erscheinende Gegenstände zu vergröf
während durch Mikroskope dasselbe bei nahen, aber
sich sehr kleinen Gegenständen bewirkt wird.

Sie werden entweder blos aus Linsengläsern zus
mengesetzt und heifsen dann dioptrische Fernrö
oder Refractoren, oder zugleich auch aus Hohlspie
und werden dann katoptrische Fernröhre, Spie
teleskope oder Reflectoren genannt.

Die Vergröfserung bei einem Fernrohr wird,
so wie bei Mikroskopen, durch Vergröfserung des
sichtswinkels bewirkt, unter welchem man den Gegens
erblickt. Sie ist sovielmalig, als der Sehwinkel des
bewaffneten Auges in dem durch das Fernrohr erzeu
enthalten ist.

Der Raum, den man durch ein Fernrohr übers
ist kreisförmig und heifst das Gesichtsfeld. Das
desselben ist der Winkel, unter welchem das blofse A
ohne Fernrohr den Raum sehen würde, den uns di

bei'm Durchsehen begrenzt. Es wird in demselben Verhältnifs kleiner, wie die Vergröfserung zunimmt.

Die Stärke des Lichtes, in der uns die Gegenstände durch ein Fernrohr erscheinen, heifst die Helligkeit oder Lichtstärke, und die Schärfe, mit der sich jeder sichtbare Punct zeigt, die Deutlichkeit. Diese beiden wesentlichen Erfordernisse aller Fernröhre sind von entgegengesetzten Bedingungen abhängig, Die Helligkeit nämlich nimmt zu, wenn man alle Oeffnungen der Gläser vergröfsert, die Deutlichkeit aber, wenn man diese verkleinert. Um die möglichst befste Wirkung zu erhalten, müssen deshalb die Oeffnungen, durch welche das Licht geht, eine solche Gröfse erhalten, dafs die erzeugten Bilder bei möglichster Deutlichkeit auch die hinlängliche Helligkeit besitzen.

§. 360.

Dioptrische Fernröhre giebt es drei Arten, nämlich das Keppler'sche oder astronomische Fernrohr, auch Sternrohr genannt (von Keppler 1611 angegeben), das terrestrische oder Erd-Fernrohr (um das Jahr 1630 von dem Jesuiten Maria de Rheita erfunden) und das Galiläische oder holländische Fernrohr (das älteste, von einem holländischen Brillenmacher Jansen 1590 zuerst angefertigte). Die beiden ersten Arten bestehen aus einer Zusammensetzung von Convexlinsen, bei letzterem werden aber Convex- und Concavlinsen angewendet.

Das astronomische Fernrohr besteht aus zwei Convexlinsen, nämlich einer von grofser und einer von kleiner Brennweite, welche so hinter einander stehen müssen, dafs ihre Axen in einer Linie zusammenfallen. Die erstere wird nach dem fernen Gegenstande gerichtet und heifst das Objectivglas. Sie erzeugt hinter sich ein verkehrtes

Luftbild, und zwar von weit entfernten Gegenständen in der Nähe ihres Brennpunctes, je näher sich diese aber befinden, desto entfernter von letzterem (vergl. §. 316, 1, 2 und 3). Durch die zweite Linse, das Ocularglas, besieht man dieses verkehrte Luftbild wie durch eine Loupe oder ein einfaches Mikroskop. Dasselbe erscheint dadurch dem Auge unter einem gröfseren Gesichtswinkel, also vergröfsert, aber verkehrt. — Es ergiebt sich demnach aus Vorigem, dafs diese Fernröhre sowohl hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, als auch ihrer Wirkung, den zusammengesetzten Mikroskopen ähnlich sind. — Meist stehen bei ihrem Gebrauche die beiden Linsen um die Summe ihrer Brennweiten von einander ab, bei Betrachtung naher Gegenstände aber, wo das Bild des Objectivglases über seine Brennweite hinausfällt, müssen die Linsen weiter von einander entfernt werden. — Die Vergröfserung ist dabei so vielfach, als die Brennweite des Oculars in der des Objectivs enthalten ist.

Fig. 233 stellt die Wirkung eines astronomischen Fernrohrs dar. *ab* ist der betrachtete Gegenstand, den man sich aber in einer bedeutenden Entfernung denken mufs; *C* ist das Objectivglas, hinter welchem, in der Nähe von dessen Brennpuncte, das kleine verkehrte Luftbild a^1b^1 entsteht; *B* ist das Ocularglas, und a^2b^2 das durch dieses vom Auge *A* erblickte vergröfserte Luftbild.

Hat das Objectiv z. B. 10 Zoll Brennweite, das Ocular aber 1 Zoll, so ist die Vergröfserung 10fach; hätte aber das Objectiv 100 Zoll Brennweite, so würde dasselbe Ocular eine 100malige, und eines von $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite eine 200malige lineare Vergröfserung bewirken.

Wie schon die Benennung andeutet, bedient man sich dieser Fernröhre hauptsächlich zu astronomischen Beobachtungen, wo die verkehrte Lage der Bilder ganz gleichgültig ist. Sie besitzen die Vorzüge, dafs sie ein grofses Gesichtsfeld und viel Lichtstärke haben und deshalb auch stärkere Vergröfserungen als andere Fernröhre gestatten.

Das Nachtfernrohr oder der Kometensucher gleicht ganz dem Sternrohr; nur hat es ein Objectiv von verhältnifsmäfsig sehr grofser Oeffnung und kleinerer Brennweite, wodurch zwar die Vergröfserung vermindert, aber das Gesichtsfeld, die Lichtstärke und Deutlichkeit bedeutend vermehrt wird. Es dient dazu, des Nachts einen gröfseren Raum am Himmel zu übersehen und lichtschwache Himmelskörper leicht aufzufinden.

Das terrestrische oder Erdfernrohr besteht aus wenigstens vier Convexlinsen, oder aus zwei hinter einander in derselben Axe liegenden astronomischen Fernröhren. Das verkehrte Bild des Objectivglases oder vorderen astronomischen Fernrohrs wird nämlich durch das zweite kleinere astronomische Fernrohr, welches, als Ocular dienend, wie ein zusammengesetztes Mikroskop wirkt, nochmals umgekehrt, also dem Auge aufrecht zugeführt. Da diese Fernröhre die Gegenstände in ihrer natürlichen Lage zeigen, so werden sie hauptsächlich zur Beobachtung entfernter Gegenstände auf der Erde gebraucht, woher auch ihre Benennung Erdfernrohr. Sie besitzen eben so wie die vorigen ein grofses Gesichtsfeld, verlieren aber, hauptsächlich wegen der mehrmaligen Brechungen in den Linsengläsern, an Licht, weshalb sie ohne Nachtheil für die Deutlichkeit auch keine so starken Vergröfserungen wie astronomische Fernröhre vertragen.

Die Fig. 234 mag die Zusammensetzung und Wirkung dieser Fernröhre versinnlichen. L ist die biconvexe Objectivlinse von angemessen grofser Brennweite; o^1, o^2 und o^3 sind die drei biconvexen Oculare von geringerer, aber gleicher Brennweite, die zusammen in eine einzige Röhre, die Ocularröhre, so eingefügt sind, dafs der hintere Brennpunct des einen Oculars mit dem vorderen des nächst folgenden, vom Objective aus gezählt, zusammenfällt. Die auf der Axenlinie aA angegebenen Puncte bezeichnen diese Brennpuncte. Beim Gebrauche wird nun die Ocularröhre so gestellt, dafs das durch das Objectiv L erzeugte verkehrte Luftbild a^1b^1 des Gegenstandes ab ein klein wenig hinter dem vorderen Brennpunct des ersten Oculars o^1 zu stehen kommt. Durch dieses erste Ocular wie bei einem astronomischen Fernrohre sehend, würde daher ein Auge das über seinen Brennpunct hinaus liegende, verkehrte und ver-

gröfserte Bild a^2b^2 erblicken. Dieses Bild befindet sich nun aufserhalb der Brennweite des zweiten Oculars o^2; daher entsteht von jenem innerhalb der Brennweite des dritten Oculars o^3 ein aufrechtes verkleinertes Bild a^3b^3, welches von dem vor diesem Oculare befindlichen Auge A, wie durch eine Loupe, also vergröfsert wie a^4b^4, unter dem gröfseren Gesichtswinkel a^4Ab^4, in der Weite des deutlichen Sehens, erblickt wird.

Bei den jetzt beschriebenen beiden Arten der Fernröhre kann man durch Hinzufügung einer Collectivlinse vor dem eigentlichen Ocular auf ähnliche Weise wie bei den zusammengesetzten Mikroskopen ein gröfseres Gesichtsfeld, ohne Nachtheil der Deutlichkeit, erlangen.

Das Galiläische Fernrohr, wohl auch Taschen- oder Theater-Perspectiv genannt, besteht aus einem convexen Objectiv- und einem concaven Ocularglase. Beide stehen in der Differenz ihrer Brennweiten von einander und stellen Gegenstände, wie das Erdfernrohr, in ihrer natürlichen Lage dar. Das Objectivglas würde nämlich nahe hinter seinem Brennpuncte ein verkehrtes Luftbild erzeugen. Vor diesem befindet sich aber das concave Ocularglas, welches die convergirenden Lichtstrahlen von jenem auffängt, ehe sie sich zum Bilde vereinen, und sie divergirend bricht. Dadurch mufs nun das Bild zwischen Objectiv und Ocular, und zwar in seiner natürlichen Lage erscheinen. Die Vergröfserung bei diesen Fernröhren ist, wie bei den astronomischen, so vielmalig, als die Brennweite des Oculars in der des Objectives enthalten ist.

Die Fig. 235 stellt die Zusammensetzung und die durch die zwei Linsengläser eines solchen Fernrohres bewirkte Brechung der Lichtstrahlen dar. — Wäre z. B. ab das entfernte Object, L das convexe Objectglas, so würde b^1a^1 das nicht zur Entstehung kommende verkehrte Luftbild desselben darstellen, weil die Lichtstrahlen vor ihrer Vereinigung durch das concave Ocular O divergirend gebrochen werden und dadurch vor diesem das aufrechte Bild a^2b^2 entstehen lassen.

Da diese Fernröhre, eben so wie die Erdfernröhre, die Gegenstände in ihrer natürlichen Lage erblicken lassen, so bedient man sich ihrer auch zu Beobachtungen auf der

Erde. In Folge der zerstreuenden Wirkung des Ocularglases besitzen sie aber sämmtlich ein sehr kleines Gesichtsfeld und vertragen deshalb keine starken Vergrößerungen. Uebrigens sind es aber, vermöge der Stellung und der kleinen Brennweite ihrer Gläser, die kürzesten und deshalb portativsten Fernröhre, welche bei vollkommenen und guten Gläsern, selbst bei stärkeren Vergrößerungen, sehr scharf begrenzte und deutliche Bilder zeigen.

Die vollkommensten Fernröhre dieser Art sind jedenfalls die von Plößl in Wien ausgeführten sogenannten Feldstecher. An ihnen sind gewöhnlich mehre Oculare auf einer Drehscheibe befestigt, durch deren Drehung man eine 8- bis 30fache Vergrößerung hervorbringen kann. (S. Baumgartner's Zeitsch. f. Phys. u. Mathem. VIII. 189.)

§. 361.

Die gewöhnlichen und älteren Fernröhre aller drei beschriebenen Arten besitzen aber den Mangel, daß wegen der sphärischen Gestalt (§. 314) und der Farbenzerstreuung des Objectivglases (§. 324) die durch dieses hervorgebrachten Bilder nicht ganz deutlich und mit farbigen Rändern erscheinen, welcher Fehler um so bedeutender wird, je convexer das Objectivglas, folglich je kürzer das Fernrohr ist. Man suchte daher bei stärkeren Vergrößerungen diesen Nachtheil dadurch zu vermindern, daß man Objectivgläser von recht großen Brennweiten anwendete und die Farbenzerstreuung, die an den Rändern der Convexgläser am stärksten ist, durch Blendungen schwächte. Auf diese Weise wurden aber die Fernröhre sehr lang und verloren auch bedeutend an Licht, ohne jedoch von diesen Fehlern gänzlich befreit zu sein.

Durch die von Dollond zuerst ausgeführten achromatischen Linsen (§. 327), welche man zu Objectivgläsern der Fernröhre anwendete, verschwanden nun die vorher angeführten Mängel. Diese sogenannten achromatischen

Fernröhre besitzen gegen die gewöhnlichen, nicht achromatischen die Vortheile, dafs sie

1.) die Gegenstände sehr deutlich und ohne farbige Ränder zeigen,

2.) wegen der bei ihnen unnöthigen Blendungen ein grofses Gesichtsfeld haben, und

3.) bei geringer Länge selbst starke Vergrösserungen gestatten.

Die gröfsten und vollkommensten achromatischen Fernröhre sind aus dem Fraunhofer'schen Atelier zu München hervorgegangen. Der nach Dorpat gelieferte Refractor hat ein achromatisches Objectiv von 9″ Oeffnung und 160″ Brennweite; die Länge des Rohres beträgt 160″, und die stärkste Vergrösserung ist 700malig. Dabei hat dasselbe eine sogenannte parallaktische Aufstellung erhalten, wodurch das Fernrohr, wenn es gegen einen Fixstern gerichtet, mittels eines Uhrwerkes in einer solchen Lage erhalten wird, dafs der Stern immer in der Mitte des Gesichtsfeldes desselben verbleibt. Ein noch gröfserer Refractor dieser Art ist 1840 auf der Sternwarte bei St. Petersburg aufgestellt worden.

Achromatische Fernröhre werden hauptsächlich deshalb so kostbar, weil Flintglas in gröfseren Stücken selten fehlerfrei ausfällt. Littrow in Wien gab daher (1827) ein Mittel an, wodurch man kleinere Flintglaslinsen mit gleichem Erfolge anwenden kann. Er schlug nämlich vor, das eigentliche Objectiv am Fernrohr nur aus Crownglas zu verfertigen und zur Aufhebung der Farbenzerstreuung eine Flintglaslinse von viel kleinerem Durchmesser in einiger Entfernung hinter dieser anzubringen. Diese sogenannte dialytischen Fernröhre sind zuerst (1832) von Plöfsl in Wien mit Erfolg ausgeführt worden. (S. Baumgartner's Zeitsch. f. Phys. Neue Folge III. 1834.)

§. 362.

Die katoptrischen Fernröhre oder Spiegelteleskope unterscheiden sich von den dioptrischen Fernröhren hauptsächlich dadurch, dafs bei ihnen ein metallener Hohlspiegel die Stelle des convexen Objectivglases vertritt. Das von diesem Spiegel vor demselben entstehende verkehrte Luftbild (§. 300) wird dann durch ein dioptrisches Ocular betrachtet und vergrösert.

Da Spiegel keine Farbenzerstreuung bewirken, so besitzen katoptrische Fernröhre vor nicht achromatischen die Vorzüge, dafs sie völlig farblose Bilder erzeugen, und dafs bei ihnen auch die Unvollkommenheit der Bilder wegen der Abweichung durch die Kugelgestalt der Spiegel (§. 298) dadurch beseitigt werden kann, dafs man parabolische Hohlspiegel anwendet. Dagegen absorbiren die Spiegel mehr Licht als Glaslinsen und verlieren weit eher ihre vollkommene Spiegelfläche, als diese ihre Deutlichkeit; auch ist die Handhabung der Spiegelteleskope minder bequem als die der dioptrischen Fernröhre.

Die katoptrischen Fernröhre wurden gegen Ende des 17. Jahrhunderts, also früher als die achromatischen Fernröhre, erfunden und waren daher bis zu dieser Zeit die einzigen Fernröhre, welche von den vorgenannten Fehlern frei und deshalb zu genauen, vorzüglich astronomischen, Beobachtungen brauchbar waren.

Ihre Zusammensetzung und Einrichtung ist verschieden, und die durch sie erzeugten Bilder der Gegenstände sind, eben so wie die der dioptrischen Fernröhre, entweder verkehrt oder aufrecht. Folgendes sind die wichtigsten Arten derselben:

Das älteste, das Newton'sche Spiegelteleskop, hatte folgende Zusammensetzung: S Fig. 236 war der metallene Objectivspiegel, welcher z. B. von dem Gegenstande ab vor seiner Spiegelfläche das verkehrte Luftbild a^1b^1 erzeugen müfste. Der unter 45^0 gegen diese reflectirten Lichtstrahlen gestellte Planspiegel P warf diese aber so zurück, dafs dadurch diefs Bild bei a^2b^2 entstand. OO ist nun eine convexe Ocularlinse, welche die Lichtstrahlen des Bildes a^2b^2 so bricht, dafs das durch sie sehende Auge A dasselbe nun vergröfsert wie a^3b^3 erblickt.

Bei dem Herschel'schen Spiegelteleskop Fig. 237 steht der metallene Objectivspiegel *S* gegen die Axe seines Rohres so geneigt, dafs das von ihm erzeugte verkehrte Luftbild b^1a^1 des Gegenstandes *ab* nahe an das Ende des Rohres nach dessen Rand hin fällt. *O* ist das Ocular, durch welches das Auge *A* dieses kleine Luftbild betrachtet und vergröfsert wie a^2b^2 erblickt.

Das Herschel'sche Teleskop hat wegen seiner Gröfse und seiner aufserordentlichen Leistungen eine allgemeine Berühmtheit erlangt. Das Rohr hat 40 englische Fufs Länge, der Spiegel 4 engl. Fufs Durchmesser und 25 Ctnr. Gewicht; er vergröfsert 7000mal und bringt 36500mal so viel Licht in's Auge, als ohne ihn von demselben Objecte dahin gelangen würde.

Eine dritte Art von Spiegelteleskopen ist das Gregory'sche, welches folgende Zusammensetzung hat: *SS* Fig. 238 ist der metallene Objectivspiegel, b^1a^1 das durch ihn erzeugte verkehrte Luftbild des Gegenstandes *ab*. Dieses Bild wird von einem zweiten kleinen Hohlspiegel *s*, der vor dem Objectivspiegel in dessen Axe steht, nochmals reflectirt in der Nähe des grofsen Spiegels, bei a^2b^2, als aufrechtes Luftbild dargestellt. In der Mitte hat der Objectivspiegel eine kreisrunde Oeffnung, vor welcher sich die Ocularlinse *O* befindet. Durch diese erscheint nun dem Auge *A* das Luftbild a^2b^2 vergröfsert wie a^3b^3. — Diese Teleskope besitzen gegen die beiden vorigen den Vorzug, dafs man sie bei Beobachtungen in der Richtung der Gesichtslinie von dem Auge nach dem Gegenstande richten kann und dafs sie die Gegenstände in ihrer natürlichen Lage zeigen, haben aber gegen jene den Nachtheil, dafs sie wegen der in der Mitte des Objectivspiegels nothwendige Oeffnung an Licht und Deutlichkeit der Bilder verlieren.

Eine ausführlichere Beschreibung dieser verschiedenen Arten der Fernröhre findet man in Gehler's phys. Wrtb. A. IV. 141—198, IX. 126—231 und in Marbach's phys. Lex. II. 400—414.

Da es den Besitzern von Fernröhren erwünscht sein dürfte, ihre Vergrößerung und das Gesichtsfeld kennen zu lernen, so mögen hier noch die mechanisch-praktischen Mittel angeführt werden, die Dr. August im II. Bd. des Lehrb. der mechan. Naturl. von Fischer hierzu empfiehlt.

Ungefähr schätzen läßt sich die Vergrößerung, wenn man nach einem und demselben Gegenstande mit dem einen Auge durch das Fernrohr, mit dem anderen unmittelbar nach ihm sieht und die sichtbare Größe beider Bilder nach dem Augenmaße vergleicht. Genau läßt sich dieselbe auf folgende Weise bestimmen: Wenn man irgend ein Fernrohr, nur nicht ein Galiläisches, gegen den freien Himmel gerichtet, befestigt und dann ein Blatt dünnes Papier, oder noch besser eine dünne durchsichtige Hornscheibe, hinter das letzte Ocular hält, an die Stelle, wo bei'm Gebrauch das Auge steht, so erblickt man, wenn sich die durchscheinende Platte auf der rechten Stelle befindet, die sich durch den Versuch leicht finden läßt, einen hellen, scharf begrenzten Lichtkreis. Man messe den Durchmesser desselben auf's Genaueste, ferner messe man eben so die Oeffnung des Objectivglases, beides nach einerlei Maßstab, und dividire mit jenem Durchmesser in diese Oeffnung, so ist der Quotient die Zahl der Vergrößerung.

Der gedachte Lichtkreis ist nämlich ein Bild des Objectivglases selbst, von welchem sich erweisen läßt, daß es gerade so vielmal kleiner im Durchmesser ist, als das Fernrohr entfernte Gegenstände vergrößert. Man kann daher, und zwar mit Vortheil für Licht und Deutlichkeit, das Objectivglas heraus nehmen und statt dessen bloß eine scharf begrenzte Blendung, welche genau dieselbe Oeffnung hat, einsetzen. — Ramsden hat zu diesem Zwecke ein besonderes kleines Instrument angegeben, welches er Dynamometer heißt. (S. Bode's astronom. Jahrb. 1795, S. 225 u. Suppl. Bd. I. p. 134.)

Das Gesichtsfeld eines Fernrohres läßt sich schätzen, wenn man seinen Durchmesser mit dem anderweitig bekannten sichtbaren Durchmesser eines Gegenstandes vergleicht, den man durch das Rohr betrachtet. Der Durchmesser der Sonne oder des Mondes schickt sich dazu besonders gut. Sie sind beide mit geringer Veränderung gleich, nämlich ungefähr einen halben Grad oder 30 Min. groß. — Genau kann man das Gesichtsfeld aber finden, wenn man auf einer Sternkarte einen kenntlichen Fixstern aufsucht, der im Aequator oder sehr nahe dabei steht. Man befestigt dann das Fernrohr in der Richtung gegen diesen Stern, läßt ihn mitten über das Feld des Fernrohres durchgehen und zählt, wieviel Secunden Zeit während dieses Durchganges verstrichen. Vier Zeitsecunden betragen allezeit eine Minute Winkel für das Gesichtsfeld.

XII. Von den verschiedenen nicht optischen Wirkungen des Lichtes.

§. 363.

Alle die bis hierher erklärten Wirkungen des Lichtes waren rein optischer Natur, d. h. es waren nur solche, durch welche unser Sehorgan afficirt wird. Das Licht zeigt sich aber auch noch auf andere Weise wirksam und thätig; es erregt nämlich Wärme und Elektrismus, so wie es sich auch an den meisten Körpern als eine chemisch wirkende, und bei den organischen Körpern als eine auf ihre Lebensthätigkeit Einfluſs habende Potenz erweist; seine magnetische Wirksamkeit aber ist bis jetzt noch zweifelhaft.

Was die Wärmeerregung betrifft, so hat man nach den darüber angestellten Untersuchungen noch nicht bei jedem Lichtquell diese Wirksamkeit nachweisen können, wogegen sie bekanntlich dem Sonnenlichte in besonders hohem Grade zukommt. Es scheint dieselbe in directem Verhältnisse mit der Stärke der Beleuchtung und des Absorptionsvermögens der Körper zum Lichte zu stehen. Auch zeigen die verschiedenen Farben des Sonnenlichtes hierin eine verschiedene Wirksamkeit, indem zunächst dem rothen Lichte, selbst noch aufser demselben, die stärkste Wärmeerregung stattfindet, von wo sie allmälig nach dem violetten Lichte hin abnimmt und in diesem endlich ganz verschwindet. Die näheren Erklärungen hierüber werden in der Wärmelehre folgen.

Die chemischen Wirkungen des Lichtes bestehen darin, daſs vorzüglich das Sonnenlicht, in minderem Grade auch das bloſse Tageslicht, ein Beförderungsmittel chemischer Verbindungen und Zersetzungen wird. So wie, nach dem Erwähnten, die Lichtstrahlen Wärmestrahlen mit sich

zu führen scheinen, so haben sie auch chemisch wirksame Strahlen, und wie die höchste Intensität des Wärmespectrums mit dem Roth des Lichtspectrums zusammenfällt, so zeigt sich die höchste Intensität der chemischen Lichtwirkungen im Violett und ein wenig darüber hinaus, nimmt aber nach dem Roth hin, wo sie verschwinde, ab.

Man kann deshalb in dem durch ein Prisma erzeugten Farbenbilde, aufser dem Lichtspectrum, welches seine gröfste Intensität im Gelb zeigt, ein Wärmespectrum, dessen intensivste Stelle in der Nähe des rothen Lichtes liegt, und auch noch ein diesem entgegengesetztes chemisches Spectrum unterscheiden, welches seine gröfste Wirkung im Violett zeigt, von wo aus diese nach beiden Seiten abnimmt und im Roth ganz aufhört. Die Fig. 203 wird dieses graphisch veranschaulichen, indem die schwache Wellenlinie die Intensitätscurve des Lichtspectrums, die starke die des Wärmespectrums, und die punctirte die des chemischen Spectrums darstellt.

Hieraus würde sich nach der Undulations-Theorie folgern lassen, dafs der Aether im Zustande der geringsten Geschwindigkeit seiner Schwingungen am meisten wärmeerregend, und in dem der gröfsten Geschwindigkeit seiner Schwingungen am stärksten chemisch wirkend ist.

Den über diese Wirkungen des Lichtes bekannt gewordenen Erfahrungen zufolge scheinen dieselben öfter chemisch zersetzend als bindend zu sein und sind sehr oft ihrer Natur nach noch nicht gehörig bekannt, sondern ihre Existenz läfst sich nur aus stattgefundener Farbenänderung, meist Bleichung, nachweisen.

Die mit dem Lichte vereinten chemischen Strahlen durchdringen auch andere durchsichtige sowohl als undurchsichtige Körper, jedoch in verschiedenem Verhältnisse, wie aus Versuchen Biot's und Malaguti's bekannt worden ist; bis jetzt hat sich daraus aber noch keine bestimmte Relation in Bezug auf die chemische Constitution der diese Strahlen durchlassenden Stoffe ergeben. Ein merkwürdiges Verhalten zeigt sich hierbei zwischen Wasser und Luft, indem ersteres die chemischen Strahlen noch leichter durch-

läfst als letztere und deshalb die chemischen Lichtwirkungen zu beschleunigen scheint.

Diese jetzt nur allgemein erwähnten chemischen Wirkungen des Lichtes sind sehr mannigfacher Art, und man kann wohl annehmen, dafs sie bei weitem noch nicht in ihrer Allseitigkeit und in ihrem Conflicte mit den übrigen Potenzen hinlänglich erforscht sind. Es sollen daher hier auch nur einige der bekanntesten Wirkungen angeführt werden.

Chemische Verbindungen durch Lichteinwirkung treten hauptsächlich zwischen gasförmigen Stoffen ein. Unter ihnen zeichnet sich besonders das Chlor aus, indem sich dieses unter Anwesenheit von weifsem, vorzüglich von Sonnenlichte leicht mit Wasserstoff, Kohlenoxydgas und auch mit organischen Stoffen verbindet, denen es hauptsächlich den Wasserstoff entzieht.

Als chemisch zersetzendes Agens zeigt sich das Licht am wirksamsten gegen die leicht reducirbaren Oxyde der edlen Metalle (s. Tab. VII) entweder ohne oder unter Mitwirkung anderer reducirender Substanzen, wie z. B. Ameisensäure, Phosphor, Kohle u. dergl. Die bekannteste Wirkung dieser Art ist die Schwärzung der Silbersalze, welche mit gröfster Wahrscheinlichkeit die Folge einer partiellen Reduction ist. Eben so ist auch die zersetzende Wirkung des Lichtes gegen Salpetersäure eine längst bekannte Erscheinung, indem diese, namentlich im Sonnenlichte, nach Kurzem in Sauersoff und salpetrige Säure zerfällt. Aehnliche Wirkungen bringt das Licht noch bei manchen Hyperoxyden hervor, wogegen dasselbe bei organischen Substanzen die Oxydation mehr zu befördern scheint.

Ob die Bleichung vegetabilischer Farbestoffe durch Licht, worauf auch die technische Anwendung des Bleichens vieler Zeuge und anderer Industrieproducte beruht, stets von einer Oxydation oder Reduction abhänge, ist noch zu ermitteln.

Um auf einfachem Wege die chemischen Wirkungen des Lichtes nachzuweisen, können folgende Versuche dienen:

Erster Versuch. Ein Gemenge von gleichen Mafsen Chlor- und Wasserstoffgas, in farblosem Glase eingeschlossen, bleibt bei gewöhnlicher Temperatur im Dunkeln unverändert. Bringt man das Gasgemenge an's Tageslicht, so erfolgt die Verbindung beider Elemente zu Chlorwasserstoff oder Salzsäure langsam, im Sonnenlichte aber augenblicklich unter Verpuffung. Die letztere Wirkung tritt auch ein, wenn man Tageslicht durch eine violette oder blaue Glastafel auf das Gasgemenge fallen läfst. Hinter einer rothen Glastafel entsteht keine Vereinigung.

Zweiter Versuch. In eine wässerige Lösung von Goldchlorid (Gold, in Königswasser gelöst) bringe man eine Stange an seiner Oberfläche gereinigten Phosphors oder einen Stengel frisch ausgeglühter Holzkohle, und lasse auf die Flüssigkeit und auf die in ihr befindlichen reducirenden Körper die Sonnenstrahlen einwirken, so wird sich nach Verfluss einiger Zeit reguliuisches Gold auf denselben absetzen.

Dritter Versuch. Stellt man eine zum Theil mit wasserheller concentrirter Salpetersäure gefüllte weisse Glasflasche an das Tageslicht, noch besser in Sonnenschein oder hinter eine blaue Glastafel, so färbt sich die Säure nach einiger Zeit gelb, und der übrige Raum der Flasche erfüllt sich mit orangegelben Dämpfen oder salpetriger Säure. Im Dunkeln oder hinter rothem Glase bleibt die Säure unverändert.

Vierter Versuch. Die durch Ausziehen grüner Pflanzentheile, Kirsch- und Fliederblätter, mit Weingeist erhaltene grüne Tinctur wird am Lichte gebleicht.

Das gelbe Pulver des Guajakharzes oder mit der Auflösung desselben in Weingeist befeuchtetes Papier wird durch das farblose und blaue Licht grün gefärbt, nicht aber durch rothes, welches nach Wollaston die durch das Licht erzeugte grüne Farbe wieder zu Gelb zurückführt.

Fünfter Versuch. Weifses Chlorsilber, sogenanntes Hornsilber, wie man es durch Fällung der salpetersauren Silberlösung durch Chlornatron, Kochsalz, und Auswaschen erhält, noch feucht auf Papier gestrichen, wird am Lichte erst violett, dann schwarz. Diese Färbung erfolgt um so schneller und stärker, je intensiver das auffallende Licht ist. Ein ähnliches Verhalten, wie bei den vorigen Versuchen angeführt wurde, zeigt das Chlorsilber gegen das farbige Licht. Klebt man ein auf die angeführte Weise mit diesem Silbersalze bestrichenes Papier hinter ein von der Sonne beschienenes Diaphan-Bild von Porzellan, so färbt sich dasselbe im Verhältnifs der Intensität des durch das Porzellan dringenden Lichtes, und nach einiger Zeit entsteht auf demselben ein Bild mit entgegengesetzter Schattirung des Diaphan-Bildes.

Diese chemischen Wirkungen des Lichtes hat man in der neuesten Zeit dazu benutzt, um vorzüglich solche Luftbilder, wie sie mittels Convexlinsen erhalten werden, zu fixiren, und die Kunst, dergleichen Lichtbilder zu erzeugen, wird Photographie oder auch Heliographie genannt. Das dabei in Anwendung kommende Verfahren besteht im Wesentlichen darin, die von einer vollkommenen Camera obscura erzeugten Luftbilder mit Schirmen aufzufangen, deren Oberflächen für die chemischen Einwirkungen des Lichtes möglichst empfänglich

gemacht worden sind. Nach Verfluſs einer kürzeren oder längeren Zeit hat dann das Licht durch seine chemische Einwirkung die Oberfläche des Schirmes so verändert, daſs sich durch entsprechende Manipulationen die vorher als Luftbilder darauf projectirt gewesenen Gegenstände in den verschiedenen Abstufungen ihrer Helligkeit, jedoch farblos, vom Schwarz bis zum Weiſs sichtbar machen und bleibend erhalten lassen.

Die vorzüglichste, von Daguerre erfundene Methode gründet sich auf die Eigenschaft des Jodsilbers, sich mit groſser Empfindlichkeit im Lichte so zu verändern, daſs es dann unter Amalgambildung von Quecksilberdämpfen angegriffen, und dann auf einer solchen Platte eine Zeit lang dargestellte Lichtbilder dadurch sichtbar wird. Die Fortschritte, welche seit Daguerre's Erfindung (1839) gemacht worden sind, bestehen hauptsächlich in der Erhöhung der Empfindlichkeit der silberplattirten Platten, besonders durch Anwendung von Chlorjod, Chlorbrom und Bromjod. Man ist dadurch jetzt so weit gelangt, daſs, nach Verschiedenheit der Helligkeit des Lichtes, nur eine oder einige Secunden Zeit erforderlich sind, um die Lichtbilder zu fixiren. Besonders merkwürdig ist noch die neuerdings erfolgte Bekanntmachung Daguerre's, daſs man die höchste Empfindlichkeit erlange, wenn man die vorbereitete Platte isolire und elektrisire. Die Empfindlichkeit soll dadurch so groſs werden, daſs schon die Lichteinwirkung eines einzigen Augenblicks ($\frac{1}{10}$ Sec.) hinreichend sei, den nöthigen Lichteindruck für das Bildzu erzeugen. Die nähere Bestätigung dieser Angaben ist aber noch zu erwarten. Auſser diesen Mitteln, durch welche die Empfänglichkeit der Platten unmittelbar erhöht wird, hat kürzlich Edmund Becquerel noch entdeckt, daſs, nachdem durch eine momentane Einwirkung des weiſsen Lichtes die primitive chemische Anregung erfolgt ist, dann unter Bestrahlung von rothem, orangegelbem, gelbem und selbst grünem Lichte die chemische Wirkung secundär fortdauert und das Bild vollendet, ohne daſs dann noch eine Einwirkung von Quecksilberdämpfen nöthig wird. (Poggendorf, Annal. LIV. 43—56.)

Eine abweichende Ansicht über die Ursache dieser Wirkungen des Lichtes, namentlich in Bezug auf photographische Erscheinungen, ist in der neuesten Zeit von Moser in Poggendorf's Annal. LVI. 177 aufgestellt worden.

Die beſsten Zusammenstellungen über die chemischen Wirkungen des Lichtes findet man in Gmelin's Handb. d. theor. Chem. 3te Aufl. I. 75. — Biot's Lehrb. d. Exper. Phys., übers. von Fechner. V. 270. — Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 303. — Marbach's phys. Lex. III. 313 und besonders Landgrebe, über d. chem. u. physiolog. Wirkungen d. Lichtes. Marburg 1834. — Baumgartner, Naturl. 7te Aufl. 1842. p. 655—660. —

Ueber Photographie aber in Poggendorf, Ann. XLVIII. 193. — Polytechn. Central-Blatt 1839, Nr. 829 u. 991, und 1841, Nr. 838. — Daguerre, das Daguerreotyp. Stuttg. 1839. — Handwörterbuch d. Chem. u. Phys. I. 523.

Daſs sich das Licht als ein Hauptquell alles organischen Lebens erweist, ist allgemein bekannt. Es giebt sich dessen Einfluſs aber auch durch mancherlei äuſsere Merkmale zu erkennen. So zeigen alle Pflanzen das Bestreben, sich mit ihren Zweigen, Blättern und Blüthen nach der Gegend hin zu wenden, wo ihnen die gröſste Menge von Licht zuströmt. Ihre Farben verdanken sie hauptsächlich dem Einflusse des Lichtes. Wachsen sie an finsteren Orten, so sind sie, statt grün, gelblich oder weiſs. An den von der Sonne beschienenen Seiten sind die Früchte auffallend gefärbter, u. dergl. m. Eben so zeigt sich aber auch das Licht nicht minder einflufsreich auf das thierische Leben, indem bekanntlich die Färbung der menschlichen Haut hauptsächlich von der Einwirkung des Sonnenlichtes abhängt, und Menschen, welchen die lebensthätige Einwirkung des Tageslichtes entzogen wird, erbleichen mehr oder weniger bedeutend und erkranken.

Was endlich noch die oben erwähnten elektrischen und magnetischen Wirkungen des Sonnenlichtes betrifft, so sind sie, so weit unsere Kenntniſs von ihnen bis jetzt reicht, sehr unbedeutend, und es ist überhaupt noch problematisch, ob diese Wirkungen nicht vielleicht blos secundärer Natur sind. Da das darauf Bezügliche erst in der Lehre von diesen Naturkräften hinlänglich verstanden werden kann, so wird dieſs später an den geeigneten Stellen noch Erwähnung finden.

Zweiter Abschnitt.

Die Wärme.

I. Von den Wirkungen und verschiedenen Zuständen der Wärme im Allgemeinen.

§. 364.

So wie unser Gehör durch den Schall, unser Auge durch das Licht afficirt wird, eben so wird unser Gemeingefühl auf eigenthümliche Weise durch die Wärme angeregt. Ueberhaupt spielt diese Naturthätigkeit eine höchst wichtige Rolle im organischen Reiche. Ohne sie kann kein Organismus gedeihen, sie ist die erste Bedingung jedes organischen Lebens; wo sie fehlt, ist Tod und Starrheit.

Aber nicht blos im organischen, sondern auch im unorganischen Reiche ist die Wärme ein Agens von höchster Bedeutung. Ihre Wirkungen sind hier sehr verschiedenartig, die allgemeinsten aber bestehen in der Veränderung des Volumens und des Aggregatzustandes der Körper; aufserdem werden aber auch viele Körper durch sie in leuchtenden, elektrischen und magnetischen Zustand versetzt, so wie sie nicht minder einen sehr wesentlichen Einfluſs bei der chemischen Action der Körper auf einander ausübt.

In Folge des Einflusses der Wärme auf jedes organische Leben ist der Mensch einerseits zwar gewissermafsen ihr Sclave, anderseits aber hat er sich auch dieselbe durch ihre verschiedenartige Wirksamkeit auf andere Körper in hohem Grade dienstpflichtig zu machen gewuſst. Der Gebrauch, den er in Folge dessen von ihr zur Befriedigung seiner natürlichen und künstlichen Bedürfnisse macht, ist so mannigfach und von so unendlicher Wichtigkeit, daſs, wenn ihm das Vermögen,

diese Naturkraft zu beherrschen, entzogen würde, er zu der Unvollkommenheit der Thiere herabsinken würde. Aufforderung genug, diese bedeutungsvolle Potenz der Natur näher kennen zu lernen.

§. 365.

Die Wärme durchdringt Alles gleich der Schwerkraft, bewegt sich nach eigenen Gesetzen und kommt auch nach solchen in's Gleichgewicht. Sie erscheint uns in zwei verschiedenen Zuständen in der Natur, nämlich als sogenannte freie und als gebundene oder latente Wärme. — Als freie Wärme zeigt sie das Bestreben, sich überall in's Gleichgewicht zu setzen oder sich in allen Körpern gleich zu vertheilen. In Folge dessen ist sie hierbei meist in steter Bewegung, von einem Körper zum anderen wandernd, und die in einem Körper vorhandene Menge derselben nennt man seine Temperatur. — In ihrem zweiten Zustande ist ihre Bewegung aufgehoben, sie befindet sich temporell im Zustande der Ruhe, indem sie mit den Atomen der Materie innig vereint ihren Aggregatzustand bedingt und deshalb als gebundene Wärme bezeichnet wird.

§. 366.

Das Wort Wärme wird in der Naturlehre in objectiver und subjectiver Beziehung gebraucht, d. h. man versteht darunter sowohl die Ursache oder die Naturthätigkeit, welche die vorerwähnten Wirkungen erzeugt, als auch die Empfindungen, welche sie in uns erregt.

Hitze ist eine Steigerung, Kälte eine Abnahme der Wärmeempfindung. Hitze und Kälte verhalten sich wie positive und negative Gröfsen, oder wie Licht und Dunkelheit. Uebrigens sind beide Empfindungen nur relativ, und es ist anzunehmen, dafs das Gefühl von Hitze dann ein-

Wenn unserem Körper mehr Wärme zugeführt wird, als für seinen normalen Lebensprocefs nöthig ist, d. h. von Kälte aber, wenn die ihm nothwendige Wärmemenge fehlt oder abgeleitet wird, und es ist nicht unwahrscheinlich, dafs diese verschiedenen Empfindungen selbst nur das unmittelbare Resultat der räumlichen Veränderungen unserer Organe sind, nämlich dafs Wärme nur das Gefühl der Ausdehnung, Kälte dagegen das Gefühl der Zusammenziehung der Theile unseres Körpers ist.

§. 367.

Die Natur oder das Wesen der Wärme ist uns bis jetzt noch eben so wenig bekannt, als die des Lichtes; wir erkennen ihr Vorhandensein ebenfalls nur an den von ihr hervorgebrachten Wirkungen. Um sich aber, wie bei dem Lichte, die verschiedenen Wärmephänomene zu erklären, hat man seine Zuflucht zu verschiedenen Hypothesen genommen. Die wichtigsten derselben sollen hier vorläufig kurz erwähnt, am Schlusse der Wärmelehre aber noch besonders besprochen werden.

Nach der älteren Hypothese nimmt man einen eigenen unwägbaren Wärmestoff an, der mit allen Körpern und verschiedenen Modificationen Verbindungen eingeht und die mannigfachen Wärmephänomene hervorbringt. Andere halten die Wärme nur für modificirtes Licht, oder nehmen eine Identität des Lichtes und der Wärme an. Nach der neuesten Ansicht endlich glaubt man, die Erscheinungen der Wärme, eben so wie die des Lichtes, aus den Undulationen des hypothetischen Aethers, die nur mit geringerer Geschwindigkeit als bei den Lichterscheinungen erfolgen und an die Körper übergehen, erklären zu können.

II. Von den Veränderungen des Volumens der Körper durch die Wärme.

§. 368.

Die bekannteste Wirkung, welche die Wärme auf alle Körper ausübt, ist die Veränderung ihres Volumens. Die Erfahrung lehrt nämlich, dafs sich die räumlichen Verhältnisse der Körper vergröfsern, oder dafs sie sich ausdehnen, wenn in ihnen die freie Wärme oder Temperatur zunimmt, dafs sich dagegen ihr Volumen vermindert, sie sich zusammenziehen, wenn in ihnen die Wärme abnimmt. Beides, Ausdehnung und Zusammenziehung erfolgt mit einer kaum mefsbaren Kraft, und zwar nach allen Richtungen in gleichem Verhältnifs; nur einige krystallisirte Körper machen von Letzterem eine Ausnahme.

Man sucht sich diese Wirkung durch die Annahme zu erklären, dafs die sich zwischen den Atomen der Materie vermehrende Wärme jene weiter von einander entfernt, wenn aber eine Abnahme derselben eintrete, diese sich wieder einander näherten. — Nach der schon im vorigen §. angeführten Ansicht von La Place wäre nämlich die Wärme die abstofsende Kraft selbst, welche, den Körperatomen inwohnend, diese bei ihrer Zunahme weiter von einander abstofse, bei ihrer Abnahme aber die anziehende Kraft sie wieder einander näher bringe. — Nach der Ampère'schen Theorie beruhten diese räumlichen Aenderungen der Körper auf der verschiedenen Intensität der Oscillationen, in welcher sich der zwischen den Atomen vorhandene Aether und diese selbst befinden.

Erster Versuch. Volumensveränderung starrer Körper. Eine Messing- oder Eisenkugel, welche eben noch durch einen Ring geht, bleibt auf diesem liegen, nachdem man sie hinlänglich erhitzt hat. Läfst man sie in dieser Lage erkalten, so fällt sie nach einiger Zeit durch den Ring. — Berücksichtigung dieser Ausdehnung bei'm Schiefsen mit glühenden Kugeln.

Zweiter Versuch. Volumensveränderung tropfbar flüssiger Körper. Eine gläserne Röhre wird zum Theil mit Quecksilber, Weingeist oder Wasser u. dergl. angefüllt. Erwärmt man nun die Flüssigkeit, so erfüllt dieselbe nach und nach einen immer gröfseren Theil der Röhre. — Um dieſs be-

merkbarer zu machen, muſs das verschlossene Ende der Röhre eine Kugel bilden. — Kühlt die Flüssigkeit ab, so zieht sie sich eben so wieder nach und nach zusammen.

Dritter Versuch. Volumensveränderung luftförmiger Körper. Eine nicht völlig mit Luft angefüllte Thierblase wird vollkommen ausgedehnt, wenn man sie an einem heißen Ofen oder über einer Kohlenpfanne erwärmt. — In dem Maſse, wie die eingeschlossene Luft erkaltet, fällt auch die Blase wieder zusammen.

Man verschaffe sich eine etwa 2 Fuſs lange, ungefähr 1 Linie weite Glasröhre, an deren einem Ende eine Kugel angeblasen ist; bringt man in die Röhre einen Tropfen gefärbter Flüssigkeit, so daſs dieser etwa in die Mitte derselben zu stehen kommt, so wird durch ihn die in der Kugel und der Röhre bis zu ihm befindliche Luft abgesperrt. — Sobald man nun die Kugel erwärmt, dehnt sich das so begrenzte Luftquantum aus, welches man an dem Fortschieben des gefärbten Tropfens in der Röhre ersieht; taucht man dagegen die Kugel in kaltes Wasser, so wird die Luft in ihr zusammengezogen, und der als Index dienende Tropfen bewegt sich nach der Kugel hin.

Ist eine solche mit einer Kugel versehene Glasröhre so gekrümmt, daſs man das offene Ende derselben abwärts in ein Glas Wasser tauchen kann, so sperrt dieses die in der Kugel und Röhre enthaltene Luft ab. Erwärmt man jetzt die Kugel z. B. durch eine darunter gehaltene Spirituslampe, so sieht man, wie die sich ausdehnende Luft in Blasen aus der Röhrenöffnung heraustritt und im Wasser emporsteigt. Entfernt man die Lampe, so zieht sich die Luft in Folge der nun eintretenden Abkühlung zusammen, und der äuſsere Luftdruck treibt jetzt so viel Wasser in die Röhre und Kugel, als vorher Luft durch die Ausdehnung entwichen war. — Es ist dieſs zugleich ein Mittel, um Gefäſse mit engen Oeffnungen mit irgend einer Flüssigkeit anzufüllen.

Scheinbare Widersprüche gegen dieses allgemeine Gesetz der Volumensveränderung zeigen bei'm Erwärmen feuchter Thon und Holz, indem sie sich zusammenziehen. Der Grund davon ist das in ihnen befindliche Wasser, welches durch die Erwärmung verdunstet und dadurch das Zusammenziehen bewirkt. Gebrannter oder geglühter Thon und völlig ausgetrocknetes Holz dagegen erleiden dieselben räumlichen Veränderungen wie andere Körper. — Berücksichtigung der Zusammenziehung des Formlehmes, sein sogenanntes **Schwinden**, bei der Anfertigung der Mäntel zum Geschützguſs u. dergl. — Manche geschmolzene Körper zeigen bei demjenigen Grade ihrer Abkühlung, wo sie anfangen zu erstarren, die entgegengesetzte Erscheinung,

sie dehnen sich nämlich aus. Dahin gehören vorzüglich Eisen, Wismuth, Schwefel und Wasser. Es geschieht diefs in Folge der Annahme des krystallinischen Gefüges (§. 93). — Hierauf beruht vorzüglich die technische Anwendbarkeit des Eisens und Schwefels zum Gufs in Formen.

A. Von der Thermometrie oder den Mefswerkzeugen der freien Wärme.

§. 369.

Die freie Wärme oder Temperatur eines Körpers vermögen wir zwar relativ nach unserem Gefühl zu beurtheilen, aber nicht quantitativ danach zu bestimmen. Das Mittel, wodurch es möglich wird, die Zu- und Abnahme der freien Wärme und ihre vorhandene Menge genau zu messen, besitzen wir in den Veränderungen der räumlichen Verhältnisse der Körper durch die Wärme. Körper, die hierzu brauchbar sein sollen, müssen die Eigenschaft besitzen, dafs ihre Volumensveränderung der auf sie einwirkenden Wärmemenge ganz oder doch in gewissen Grenzen proportional ist.

Solche zur Messung der freien Wärme eingerichtete und brauchbare Mefswerkzeuge nennt man für nicht bedeutend hohe Temperaturen Thermometer (Wärmemesser) und für hohe Hitzegrade Pyrometer (Feuermesser), so wie die durch ihre Volumensänderung als Mafsstab dienenden Körper thermoskopische Substanzen heifsen. Als solche dienen vorzüglich Flüssigkeiten, gewöhnlich Quecksilber und Weingeist, zu manchen Zwecken werden aber auch statt ihrer atmosphärische Luft und Metalle angewendet. Nach der in Anwendung gebrachten thermoskopischen Substanz pflegt man dann den Thermometer zu benennen.

§. 370.

Das Wichtigste bei jedem solchen Instrumente besteht in der zweckmäfsigen Wahl der thermoskopischen Substanz, der

Bestimmung zweier fester Normalpuncte als Mafsstablänge und der dafür angenommene Eintheilung.

Die gebräuchlichsten Thermometer sind die Quecksilber- und Weingeist- (Spiritus-) Thermometer. Sie bestehen aus einer engen cylindrischen Glasröhre, einer sogenannten Haarröhre, welche innerlich überall genau dieselbe Weite (gleiches Kaliber) haben mufs, und an deren einem Ende eine Kugel angeblasen ist. Die Kugel so wie ein Theil der Röhre wird mit Quecksilber oder gefärbtem Weingeist gefüllt und das offene Röhrenende zugeschmolzen.

Zweck der Kugel an der Glasröhre. Nothwendigkeit des genauen Kalibrirens der Röhren, der Reinheit des Quecksilbers und der Luftleermachung der Glasröhre.

§. 371.

Da man bis jetzt die Grenzen der Wärmethätigkeit noch nicht kennt, d. h. da man weder die Temperatur des absoluten Nullpunctes, noch des Maximums ermittelt hat, so mufste man zwei Normaltemperaturen annehmen, durch welche die Grenzen des Wärmemafsstabes bestimmt werden. Diese Normaltemperaturen müssen unveränderlich sein, an den Körpern, woran sie beobachtet oder abgemessen werden, eine Zeit lang stabil bleiben und endlich auch zu jeder Zeit und an jedem Orte leicht gefunden oder ermittelt werden können. Den einen Normalpunct bestimmt die Temperatur des schmelzenden Schnees oder Eises, den anderen die Temperatur des siedenden reinen Wassers. Jener heifst der Eis-, Frost- oder Gefrier-Punct, dieser der Koch- oder Siede-Punct; beider Puncte Entfernung ist die Länge des Mafsstabes oder der Fundamental-Abstand. Seine Abtheilungen geben die Scala und bestimmen die Gröfse der Grade, die entweder auf der Röhre selbst oder auf einer Tafel von Glas, Metall, Elfenbein,

olz u. dergl., an die man die Thermometerröhre befestigt, fgetragen werden.

Um den Eispunct zu bestimmen, muſs man den ganzen Thermometer horizontal in ein Gefäſs voll schmelzenden reinen Schnees oder Eises einlegen. Die thermoskopische Substanz zieht sich in der Röhre zusammen, nimmt aber nach einiger Zeit einen festen Stand an, welche Stelle dann der Eispunct des Thermometers ist. Auf diesen Standpunct kommt die Flüssigkeit immer wieder zurück, so oft man auch die Röhre herausnimmt und einsetzt, zu jeder Zeit und an jedem Orte, wo dieſs auch geschehen mag; ein Beweis, daſs die Temperatur des schmelzenden Schnees und Eises constant ist. — Wird der Eispunct kurze Zeit nach der Anfertigung des Thermometers bestimmt, so hat man gefunden, daſs, wahrscheinlich in Folge einer langsamen Verkleinerung der Glaskugel durch den Atmosphärendruck, der Frostpunct nach Verlauf von mehren Monaten um ½ bis 2 Grad höher rückt. Soll diese Unrichtigkeit vermieden werden, so ist es für genaue Thermometer nothwendig, diesen Normalpunct erst ungefähr nach Verlauf eines Jahres nach ihrer Anfertigung zu bestimmen. — Den Siedepunct erhält man durch Einsetzen des Thermometers in reines siedendes Wasser, indem die steigende Quecksilbersäule auch hier bald bei einem fixen Puncte stehen bleibt. Da aber Wasser mit zunehmender Tiefe eine höhere Temperatur annimmt, und das ganze Thermometer auch bei der Bestimmung dieses Normalpunctes immer gleicher Temperatur ausgesetzt sein muſs, so darf man den Thermometer nur horizontal liegend den Dämpfen dicht über der Oberfläche des Wassers aussetzen. Die Temperatur, bei welcher das Wasser in's Sieden kommt, ist aber nicht immer dieselbe, sondern, wie weiter unten noch näher angeführt werden wird, und wie sich auch zugleich aus dem §. 201 angeführten ersten Versuche, dem des Siedens von lauem Wasser im luftverdünnten Raume, ergiebt, von dem Drucke der Atmosphäre oder dem Barometerstande abhängig. Deshalb muſs bei der Bestimmung des Siedepunctes an einem Thermometer allemal zugleich auch auf den eben stattfindenden Barometerstand Rücksicht genommen werden. Man sucht daher den Siedepunct entweder zu einer Zeit, wo gerade der mittle Barometerstand stattfindet, (in Deutschland bei 28″ Par., in Frankreich bei 576ᵐ, in England bei 30″ Engl., nach §. 198) oder corrigirt denselben bei einem anderen Stande durch Berechnung. Hierzu fand Egen (s. Poggendorf, Annal. XI. 528) aus sorgfältigen Untersuchungen, daſs der Siedepunct für jede Par. Linie unter dem mittlen Barometerstande um 0,0011 oder für je 10 Linien um

0,01 des Fundamentalabstandes über den am Thermometer gefundenen Siedepunct hinaufgerückt werden muſs.

Von der Stabilität dieser Normaltemperaturen kann man sich leicht an einem richtigen oder Normalthermometer überzeugen, wenn man diesen in schmelzenden Schnee oder siedendes Wasser bringt.

Bei genauen Thermometern ist endlich auch noch der Einfluſs des Temperaturwechsels auf die Länge der Scalen zu berücksichtigen, weshalb Glasscalen, da diese hierdurch am wenigsten verändert werden, vor allen anderen den Vorzug verdienen.

§. 372.

Eine allgemein angenommene Scala existirt bis jetzt noch nicht. Die gebräuchlichsten sind die von Celsius, Réaumur und Fahrenheit. Nach Celsius (C.) wird der Fundamentalabstand in 100° — hunderttheilige oder Centesimal-Scala — nach Réaumur (R.) und de Luc in 80° — achtzigtheilige oder Octogesimal-Scala — getheilt, und vom Frostpuncte 0° das Zählen angefangen; nach Fahrenheit (F.) aber wird dieser Zwischenraum in 180° getheilt, der Frostpunct jedoch mit 32° bezeichnet, so daſs der Nullpunct noch 32° unter diesem liegt, und am Siedepunct 212° zu stehen kommen.

In der Fig. 239 findet man diese drei gebräuchlichsten Scalen, für denselben Fundamentalbestand, neben einander gezeichnet.

Alle vom Nullpuncte nach dem Siedepuncte gehende Grade werden gewöhnlich Wärmegrade genannt. Unterhalb des Frostpunctes werden in ihrem Werthe den Wärmegraden entsprechende sogenannte Kältegrade aufgetragen, bei denen das Zählen ebenfalls vom Nullpuncte anfängt. Da die Annahme des Nullgrades nur eine willkührliche ist, so erscheint es zweckmäſsiger, die Wärmegrade mit +, die Kältegrade mit — zu bezeichnen.

Aus Vorigem folgt, daſs bei Angaben der Temperaturen in Graden auch die Scala mit genannt werden muſs. Die Grade der einen Scala lassen sich aber leicht in die der anderen ver-

wandeln, da ihr einfachstes Gröfsenverhältnifs sich durch folgende Zahlen darstellt:

$$R : C : F = 80 : 100 : 180 + 32 = 4 : 5 : 9 + 32$$

oder:

$$R = \tfrac{4}{5}\, C = \tfrac{4}{9}\,(F - 32)$$
$$C = \tfrac{5}{4}\, C = \tfrac{5}{9}\,(F - 32)$$
$$F = \tfrac{9}{4}\, R + 32 = \tfrac{9}{5}\, C + 32.$$

Tabellen zur Vergleichung der verschiedenen Thermometergrade findet man in Marbach's phys. Lex. IV. 563—667 und in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 905—917.

Quecksilber-Thermometer besitzen gegen solche, bei welchen eine andere thermoskopische Flüssigkeit angewendet ist, folgende wesentliche Vorzüge. Sie sind zur Messung ziemlich hoher und niederer Temperaturgrade geeignet, indem die Grenzen ihrer Anwendbarkeit zwischen dem Gefrier- und Siedepuncte des Quecksilbers, nämlich zwischen — 40° C. und + 360° C. oder zwischen — 32° R. und + 288° R., liegen. Gegen beide Grenzen hin werden jedoch die Angaben derselben wegen der ungleichförmigen Zusammenziehung und Ausdehnung des Quecksilbers unzuverlässig. Sie sind ferner gegen die Veränderungen der Wärme empfindlicher als Thermometer, die mit anderen Flüssigkeiten gefüllt sind, d. h. das Quecksilber wird bei eintretenden Temperaturwechseln schneller afficirt, ohne dafs es diese Eigenschaft mit der Zeit verliert oder ändert. Den wichtigsten Vorzug erhalten aber diese Thermometer dadurch, dafs die Raumesänderungen des Quecksilbers innerhalb derjenigen Temperaturen, welche am häufigsten in Betracht kommen, nämlich zwischen — 25° C. und + 100° C. oder zwischen — 20° R. und + 80° R. der Wärme-Zu- und Abnahme vollkommen proportional und regelmäfsig sind. (S. Anmerk. §. 374.)

Weingeistthermometer sind dagegen unentbehrlich, wo es darauf ankommt, sehr hohe Kältegrade, wo das Quecksilber schon gefroren sein würde, zu messen, wogegen sie eigentlich nur zur Bestimmung von Temperaturen bis zu + 60° R. oder + 75° C. angewendet werden können, weil bei einer gröfseren Wärme der Weingeist in's Sieden kommt. Aufserdem ist noch zu bemerken, dafs, weil sich der Weingeist der Wärmezunahme nicht proportional, sondern immer mehr ausdehnt, je wärmer er wird, die Grade der Scala aber, wenn sie, wie bei Quecksilberthermometern, gleich grofse Wärmezunahme ausdrücken sollen, in dem Verhältnisse der stärkeren Ausdehnung des Weingeistes an Gröfse zunehmen müssen, die Anfertigung richtiger Scalen für diese Thermometer mit mancherlei Schwierigkeit verknüpft ist.

ungen der Wärme der Luft am schnellsten mittheilen, theils weil die sämmtlichen Veränderungen bei luftförmigen Körpern am größten sind. In Folge der zuvor angegebenen Eigenschaft der Luft sind sie auch als die dazu tauglichen Meßwerkzeuge der wahren Wärmegrade für die Temperatur angewendet worden.

Die Luftthermometer sind die ältesten, zuerst erfundenen Wärmemesser. Gegen die Mitte des 17. Jahrhunderts soll der erste dergleichen Thermometer von einem holländischen Landmanne Namens Cornelius Drebbel, nach Andern von dem Arzte Sanctorius angefertiget worden sein.

Drebbel's Luftthermometer Fig. 239 besteht aus einer mit angeblasener Kugel *c* versehenen Thermometerröhre, deren Oeffnung bis unter die Oberfläche einer in einer Glasflasche befindlichen gefärbten Flüssigkeit reichte und von dieser zum Theil, z. B. bis *d*, angefüllt war. Das hierdurch abgeschlossene Luftvolumen, von *c* bis *d*, wird nun bei zunehmender Temperatur ausgedehnt, wodurch die Flüssigkeitssäule unter *d* sinkt; bei abnehmender Temperatur wird es dagegen zusammengezogen, was ein Emporsteigen der Flüssigkeit über *d* zur Folge hat. Der Mangel fixer Puncte, die willkürliche Eintheilung, die gleichzeitige Abhängigkeit des Standes vom Luftdrucke beweisen die Unvollkommenheit dieses Instrumentes.

Amonton's Luftthermometer, welches von diesem zu Anfang des 18. Jahrhunderts angegeben wurde, bestand aus einer einem gewöhnlichen Barometer ähnlichen Glasröhre Fig. 240, deren Kugel geschlossen, während die Röhre offen war. Ein Theil derselben so wie die halbe Kugel wurde mit Quecksilber gefüllt. — Die Wärme wird hier durch die Expansivkraft der in der Kugel eingeschlossenen Luft gemessen, die Expansivkraft aber durch den veränderlichen Niveauunterschied *ab* und den gleichzeitigen Barometerstand. Um jedoch vergleichbare Anzeigen zu erhalten, mußte die Ausdehnung des Quecksilbers mit in Rechnung gebracht werden.

Alles, was bei den im Vorhergehenden angeführten Thermometerarten hinsichtlich ihrer Anfertigung, ihres Gebrauches und ihrer Correctionen beobachtet werden muß, findet man ausführlicher, als es hier geschehen konnte, abgehandelt in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 839—997. — Marbach's phys. Lex. IV. 661—711. — Fechner's Repert. d. Phys. II. 430—441. — Pharmac. Centralbl. 1835. S. 848. — Poggendorf's Annal. VI. 267. XI. 276—536. XIII. 46. XL. 39, 564. — Körner's Anleitung z. Verfert. übereinst. Therm. 1824.

Da, wie bereits angeführt wurde, die Luft sich nahe der freien Wärmemenge proportional verändert, so sind Lufthermometer dazu angewendet worden, den Gang der Ausdehnung anderer thermoskopischer Substanzen, vorzüglich des Quecksilbers, damit zu vergleichen und auf diese Weise die Abweichungen der gebräuchlichen Thermometer gegen einen solchen Normalwärmemesser zu bestimmen. Dulong und Petit kamen bei ihrer Vergleichung des Quecksilberthermometers mit dem Lufthermometer zu folgenden Resultaten:

Temperaturen, angezeigt von einem Quecksilber-Thermometer.	Temperaturen, angezeigt von einem Luft-Thermometer.	Differenz.
— 26,29° C.	— 36,18° C.	— 0,11
— 34,72 -	— 34,84 -	+ 0,12
— 33,31 -	— 33,40 -	+ 0,09
— 32,27 -	— 32,13 -	— 0,04
— 31,63 -	— 31,54 -	— 0,09
— 31,26 -	— 31,04 -	— 0,12
— 30,46 -	— 30,59 -	+ 0,13
— 29,68 -	— 29,64 -	— 0,04
— 25,00 -	— 25,00 -	——
0 -	0 -	——
+ 100 -	+ 100 -	——
+ 110 -	109,786 -	— 0,214
120 -	119,522 -	— 0,478
130 -	129,262 -	— 0,738
140 -	138,988 -	— 1,012
150 -	148,700 -	— 1,300
160 -	158,398 -	— 1,602
170 -	168,082 -	— 1,918
180 -	177,752 -	— 2,248
190 -	187,408 -	— 2,592
200 -	197,050 -	— 2,950
210 -	206,778 -	— 3,222
220 -	216,342 -	— 3,658
230 -	225,992 -	— 4,008
240 -	235,478 -	— 4,522
250 -	245,050 -	— 4,950
260 -	254,608 -	— 5,392
270 -	264,152 -	— 5,848
280 -	273,682 -	— 6,318
290 -	283,198 -	— 6,802
300 -	292,700 -	— 7,300
310 -	302,181 -	— 7,819
320 -	311,662 -	— 8,338
330 -	321,115 -	— 8,885
340 -	330,568 -	— 9,432
350 -	340,000 -	— 10,000
360 -	350,000 -	— 10,000

Zusammengestellt nach Munke's Handb. d. Naturl. I. 411, d Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. 599.

Aus dieser Tabelle ersieht man, dafs das Quecksilber- und das Lufthermometer von — 25° C. bis + 100° C. genau übereinstimmen (wie schon §. 372 bemerkt wurde), dafs über + 100° C. der Quecksilberthermometer voraneilt, dafs aber unter — 25° C. die Zusammenziehungen des Quecksilbers unregelmäfsig ausgefallen sind, welches vielleicht aber auf Beobachtungsfehlern beruhen dürfte.

Um die Temperaturangaben eines Quecksilber-Thermometers über dem Siedepunct des Wassers auf wahre Wärmegrade oder Grade des Lufthermometers zurückzuführen, dienen folgende Formeln, in welchen t^1 die Grade des Quecksilber-Thermometers und t die des Lufthermometers bedeutet.

$$t = t^1 - \tfrac{1}{4}\,[0{,}09\,(t^1 - 100) + 0{,}00028\,(t^1 - 100)^2]$$

für den Centesimalthermometer, und

$$t = t^1 - \tfrac{1}{4}\,[0{,}09\,(t^1 - 80) + 0{,}00035\,(t^1 - 80)^2]$$

für das achtzigtheilige Thermometer ausdrücken. (Poggendorf's Annal. XXII. 119.)

§. 375.

Eine besondere Art von Lufthermometer sind noch die sogenannten **Differenzial-Thermometer**. Sie bestehen aus zwei in Glaskugeln abgeschlossenen Luftportionen, welche durch eine gemeinschaftliche enge Glasröhre verbunden, in dieser aber durch eine Flüssigkeitssäule (von gefärbtem Weingeist oder Schwefelsäure) getrennt sind. Wird die Luftmenge in der einen Kugel erwärmt oder erkältet, so zeigt sich diese Veränderung durch das Fortschieben oder Anziehen der Flüssigkeitssäule.

Es ergiebt sich hiernach, dafs diese Thermometer nur die Differenz der Ausdehnung oder Verdichtung der in einer Kugel abgeschlossenen Luftmenge anzeigen, daher auch ihre Benennung. Werden beide Kugeln in gleichem Grade erwärmt oder erkältet, wie dieſs der Fall ist, wenn sie frei in der Atmosphäre stehen, so bemerkt man keine Bewegung der Flüssigkeitssäule.

Ihre Anwendung finden diese Thermometer wegen ihrer grofsen Empfindlichkeit da, wo es darauf ankommt, kleine örtliche Veränderungen der freien Wärme sichtbar

zu machen. Die bekanntesten derselben sind das von Rumford und das von Leslie angegebene.

Rumford's Differenzial-Thermometer zeigt Fig. 241. *aa* sind die beiden Glaskugeln, in welchen sich atmosphärische Luft befindet, die in der Glasröhre bei *o* durch eine kleine Säule von gefärbtem Spiritus oder Schwefelsäure getrennt ist. Die Eintheilung der Scala beginnt von der Mitte der Röhre bei o links und rechts, und kann entweder beliebige Grade erhalten, oder auch nach dem Temperaturmafsstabe von Réaumur und Celsius bestimmt werden.

Die Fig. 242 stellt das Leslie'sche Differenzial-Thermometer dar. *aa* sind ebenfalls die beiden, atmosphärische Luft enthaltenden Glaskugeln. Die untere aber ist zum Theil mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt, welche in der Glasröhre bis zum *o*-Punct der Scala geht. Von diesem Puncte aus ist letztere, eben so wie bei'm Rumford'schen Thermometer, eingetheilt.

Ein noch empfindlicherer, dem Rumford'schen ganz ähnlicher Apparat ist der vom Prof Schmidt angegebene, welcher nach des Erfinders Schätzung Differenzen von ungefähr $\frac{1}{1000}$° R. angeben soll.

(S. Gehler, phys. Wrtb. II. 535. IX. 994, und Schmidt, Handb. d. Naturl. 1826 p. 395.)

§. 376.

Auch starre Körper, und zwar Metalle, hat man als thermoskopische Substanzen angewendet, jedoch sind dergleichen Thermometer weniger gebräuchlich. Es bestehen dieselben im Wesentlichen aus einem Metallstreifen, der bei seiner Ausdehnung und Zusammenziehung einen ungleicharmigen Hebel in Bewegung setzt, dessen längerer Arm als Zeiger auf einem eingetheilten Gradbogen die Temperatur angiebt. Die von Breguet in Paris und von Holzmann in Wien ausgeführten haben meist die Form von Taschenuhren.

Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 987—984, Marbach's phys. Lex. IV. 711.

§. 377.

Zur Messung sehr hoher Hitzegrade, wie in Brenn- und Schmelzöfen, wo die gewöhnlichen Thermometer zer-

stört werden würden, dienen die sogenannten Pyrometer. Das bekannteste und gebräuchlichste ist das von Wedgwood. Es mifst die Temperatur durch das Zusammenziehen oder Schwinden von Thoncylindern, welche man dem Feuer oder der Wärme aussetzt, wovon man die Temperatur wissen will. Die Scala oder der Mefsapparat für diese Thoncylinder besteht aus zwei metallenen geradlinigen Schienen, welche auf eine eben solche Platte so neben einander befestigt sind, dafs sie an dem einen Ende 0,5", am andern 0,3" Abstand haben. Die bei beginnender Rothglühhitze getrockneten Cylinder müssen genau in die weitere Oeffnung der Lineale passen, auf deren Oberfläche die Gradeintheilung angebracht ist. Solche nachher einer gröfseren Hitze ausgesetzte Cylinder ziehen sich dann mehr zusammen und zeigen, wenn sie zwischen die convergirenden Lineale gebracht werden, an der Stelle, wo sie stehen bleiben, den Wedgwood'schen Wärmegrad an, unter dessen Einwirkung sie sich so weit zusammengezogen hatten. Nach Wedgwood's Schätzung entspricht der Nullgrad seiner Scala + 464° R. oder + 580° C. und jeder einzelne Grad einer Temperaturerhöhung von 58° R. oder 72° C; nach Guyton Morveau's Untersuchungen aber wäre 0° W. ungefähr + 213° R. oder + 266° C., und jeder Grad seiner Scala betrüge nur 27° R. oder 34° C. Die Anzeigen dieses Pyrometers sind indefs nicht ganz zuverlässig, weil der Thon zu den Cylindern nicht immer ganz von vollkommen gleicher Beschaffenheit zu erhalten ist, und weil jede Thonmasse, wenn sie einer geringeren Hitze lange Zeit ausgesetzt bleibt, eben so stark schwindet, als wenn eine stärkere Hitze kürzere Zeit auf sie gewirkt hätte.

Die neueren pyrometrischen Apparate gründen sich gröfstentheils auf die Ausdehnung des Platins, eines Me-

alles, welches allen bis jetzt in Anwendung gekommenen Ofenhitzen widersteht, ohne zu schmelzen. Als besonders empfehlenswerth wird das von Petersen construirte geschildert. Dieses Instrument erlaubt, Wärmeunterschiede von + 20° bis + 2000° C. zu messen, und die mit einem Nonius versehene Scala zeigt unmittelbar 2° C. an; dabei soll dasselbe so empfindlich sein, dafs die Temperaturunterschiede in verschiedenen Zimmern nach etwa 2 oder höchstens 5 Minuten zum Vorschein kommen.

Noch verdient aber bemerkt zu werden, dafs alle bis jetzt vorgeschlagenen und in Gebrauch gekommenen Pyrometer noch nicht völlig allen Forderungen entsprechen, namentlich mangelt noch Uebereinstimmung ihrer Anzeigen, so wie es auch nicht bei allen als entschieden anzunehmen ist, ob ihre Messungen auch wirklich den freien Wärmemengen proportional sind.

Wo schon die Angabe beträchtlicher Temperaturunterschiede genügt, bezeichnet man dieselben nach der Intensität des Lichtes, das ein der Wärmeeinwirkung ausgesetzter Körper verbreitet, mit den Ausdrücken: Kirschrothglühhitze (800° C.), lichte Rothgluth (1000° C.), Weifsglühhitze (1300—1600° C.)

Gehler, phys. Wrtb. n. A. VII. 978—1010. — Marbach, phys. Lex. IV. 226. — Das Laboratorium Hft. 24, Tab. XCV und Hft. 33, Tab. CXXXII.

Verschiedenheit der Raumesänderung der Körper nach ihrem Aggregatzustande.

§. 378.

Die Aenderung des Volumens durch eine gleiche Vermehrung oder Verminderung der Wärme ist nicht bei allen Körpern gleich. Aus Versuchen hat man gefunden, dafs die Raumesänderung der starren Körper durch die Einwirkung der Wärme am geringsten ist, bei liquiden etwas

mehr beträgt, bei luftförmigen aber auf stärkste ausfällt. Hieraus ergiebt sich also, dafs im Allgemeinen die Volumenveränderung der Körper durch die Wärme um so bedeutender werde, je weniger dicht die Körpermaterien sind. Wärme und Cohäsion zeigen sich in dieser Beziehung als zwei in der Körpermaterie entgegengesetzt wirkende Kräfte, wovon erstere als der Repräsentant der ausdehnenden, letztere als der der anziehenden Kraft erscheint.

§. 379.

Mit der Ausdehnung der starren Körper durch die Wärme vermindert sich ihre Cohäsion, und zwar um so mehr, je beträchtlicher diese Einwirkung der Wärme auf sie wird. Da aber dergleichen Körper die stärkste Cohäsion besitzen, also der Expansion durch Wärme den gröfsten Widerstand entgegensetzen, so ist es auch natürlich, dafs bei ihnen die Raumesänderungen durch die Wärme am unbedeutendsten ausfallen müssen.

Zwischen dem Frost- und dem Siedepuncte des Wassers (0° und + 100° C. oder 0° und + 80° R.) ist die Ausdehnung der festen Körper gleichförmig, so dafs gleiche Temperaturzunahmen gleichen Raumvergröfserungen entsprechen; bei höheren Wärmegraden wächst aber die Ausdehnung in der Regel in stärkerem Verhältnisse als die Temperatur.

Die Gröfse der Ausdehnsamkeit ist bei den verschiedenen Körperstoffen verschieden. Die beträchtlichsten Raumesänderungen erleiden die Metalle, aber auch diese zeigen hierin noch eine merkliche Verschiedenheit. Bei der Mehrzahl derselben ist die Volumensänderung desto gröfser, je schmelzbarer sie sind. Weniger werden die erdigen Substanzen, z. B. Steine und Glas, verändert, am wenigsten die festen, trockenen Körper aus dem organischen Reiche, als trockenes Holz, Knochen u. dergl.

Körper von gleichförmigem inneren Gefüge verändern ihr Volumen nach allen Richtungen gleich stark, jedoch machen hiervon mehre Krystalle eine merkwürdige Ausnahme.

Nach Mitscherlich ist die Ausdehnung aller Krystalle mit ungleichen Achsen nicht in allen Richtungen sich gleich, indem sie in der Richtung der gröfseren Achse stets geringer ist als in der der kleineren.

Noch ist zu bemerken, dafs man die lineare Ausdehnung fester Körper mittels pyrometrischer Vorrichtungen bestimmt; jedoch sind mit Erlangung genauer Resultate mancherlei Schwierigkeiten verknüpft. Wegen der unbedeutenden Ausdehnung der festen Körper kann man sie für die Fläche als doppelt und für den Kubikinhalt als dreimal so grofs wie in der Länge annehmen.

Die XVI. Tabelle des Anhanges enthält nach Angaben der dabei bemerkten Beobachter die lineare Ausdehnung der am häufigsten in Betracht kommenden festen Körper, wenn sie vom Frost- bis zum Siedepuncte des Wassers erhitzt werden, wobei ihre Länge bei 0^0 als 1 zu Grunde gelegt ist. Um die lineare Ausdehnung für 1^0 C. zu finden, hat man nur den hundertsten, für 1^0 R. den achtzigsten Theil der in der Tabelle angegebenen Ausdehnung zu nehmen. Bei Erkältung unter 0^0 ist für jeden Grad die Zusammenziehung eben so grofs als die Ausdehnung für jeden Grad über 0^0 zu rechnen.

Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. 559–585, X. 887–902. — Marbach's phys. Lex. I. 90–96.

§. 380.

Die geringen Volumensänderungen, welche die Metalle und andere feste Körper durch die Wärme erleiden, kommen bei dem gewöhnlichen Temperaturwechsel im gemeinen Leben nicht sehr in Betracht; dagegen aber werden sie von Einfluss bei Körpern, welche genau eine bestimmte

Gröſse a[illegible]eben oder beibehalten sollen, z. B. genaue Normalmaſs[illegible]be (1), die Gufsrisse und Schablonen für Geschütze und die Pendel an genauen Zeitmessern (2). Aber auch in technischer Beziehung muſs der Einfluſs der Wärme [illegible] feste Körper vielfach beachtet werden, namentlich we[illegible]widerstehlichen Gewalt, mit welcher die Aus[illegible]hnung und Zusammenziehung fester Körper erfolgt, und überall da, wo die Verbindung verschiedenartiger Körper nothwendig wird (3).

1.) Jeder Normalmaſsstab giebt die richtige Länge nur bei der Temperatur an, bei welcher er aufgetragen wurde. Bei einer höheren Temperatur ist er [illegible]u groſs, bei einer niedreren zu klein, und zwar ist dieſs nic[illegible] allein nach der Temperaturdifferenz, sondern auch nach dem Material, woraus der Maſsstab besteht, verschieden. — Auf Glas und Holz getheilte Maſsstäbe, wenn sie keine bedeutende Länge haben, ändern wegen des geringen Einflusses der Wärme auf diese Stoffe innerhalb des gewöhnlichen Temperaturwechsels ihre Länge nur unbedeutend. — Vortheile gläserner und hölzerner Thermometer-Scalen. — Bei metallenen Maſsstäben von einigen Fuſsen Länge muſs aber ihre wahre Gröſse nach der Temperaturdifferenz corrigirt werden. — Ist z. B. eine Länge l bei der Temperatur t nach irgend einem genauen Maſstabe bestimmt worden, wenn der Ausdehnungscoefficient seines Materials für + 100° C. $1 + m$ ist, so ergiebt sich die wahre gemessene Länge λ aus der Gleichung

$$l = \lambda \left[1 + \frac{m\,(t - \tau)}{100}\right],$$

was mit hinlänglicher Genauigkeit zu dem Werthe

$$\lambda = l \left[1 - \frac{m\,(t - \tau)}{100}\right]$$

führt, in welchem τ die Normaltemperatur des Maſsstabes bedeutet. Ist diese Normaltemperatur z. B. + 16,6° C., so wird ein messingener Maſsstab von 3 Par. Fuſs oder 1 Meter Länge (wie z. B. die Scala an einem Barometer) bei + 26, 6° C. [illegible] beinahe um 1 Linie ab. — Hieraus ergiebt sich bei genauen Barometermessungen auch noch die Nothwendigkeit einer Correction für die Barometerscala.

Eben so ist es auch begreiflich warum die Formen eines Modells für den Guſs der Geschütze allemal gröſser ausgefertigt werden müssen, als die wahren Maſse, die sie erhalten sollen, auch abgesehen davon, daſs sie durch das Abdrehen der Auſsen-

flächen kleiner werden, und warum es nicht rathsam ist, Gufsrisse auf Zinktafeln aufzutragen, da dieses Metall gerade durch die Wärme am meisten verändert wird. — Bei der Länge eines Kanonenrohres von 88 Zoll (wie bei den sächs. Zwölfpfündern) erzeugt jeder Centigrad Temperatur-Differenz auf diese Länge einen Unterschied von 0,01 Zoll.

2.) Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmesser sein soll, so mufs dessen Länge durch Temperaturunterschiede so wenig als möglich geändert werden (§. 108, 1). Defshalb ist es gut, wenn sich solche Zeitmesser an Orten befinden, wo der Temperaturwechsel nicht grofs ist, oder wo diefs nicht ganz vermieden werden kann, mufs man zu den Pendelstangen ein solches Material wählen, worauf die Wärme nur wenig einwirkt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Oel gesottenes und dann überfirnifstes Holz. Am befsten ist es aber, die Pendelstangen aus verschiedenen Stoffen in der Art zusammenzusetzen, dafs sich dann die Wirkungen der Wärme in diesen gegenseitig aufheben. Eine derartige Zusammensetzung heifst eine Compensation.

Die üblichste Compensation ist der von Harrison erfundene sogenannte Rostpendel. In seiner einfachsten Gestalt zeigt ihn Fig. 243. Die eigentliche Pendelstange CP ist von Eisen, und ebenso sind auch die Stangen AB und DE von Eisen, die Stangen FG und KL dagegen bestehen aus Zink. Indem sich nun beide Metalle gleichzeitig in ihrer Länge verändern, so wird, wenn sich z. B. das Eisen ausdehnt, P sinken, vermöge der Ausdehnung des Zinks aber wird P gehoben, wie die Betrachtung der Figur zu erkennen giebt. Da sich aber das Zink mehr ausdehnt als das Eisen, so ist es möglich, ein solches Längenverhältnifs für die Eisen- und Zinkstangen zu wählen, dafs, indem die Zinkstangen kürzer sind, bei der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung P durch diese genau um so viel gehoben wird, als es an den längeren Eisenstangen herabsinkt, und so auch umgekehrt bei Abnahme der Wärme, dergestalt also, dafs die Länge des ganzen Pendels bei jedem Temperaturwechsel unverändert bleibt. Diesen Zweck erreicht man, wenn sich die wirkenden Längen beider Metalle umgekehrt wie ihre Ausdehnungen durch die Wärme verhalten. — Die verhältnifsmäfsige Länge der Stangen von verschiedenen Metallen berechnet man nach der Formel: $l = L\frac{e}{z-e}$. Hierbei bedeutet l die Länge der Zinkstange, L die Länge der Eisenstange, e die Ausdehnsamkeit des Eisens und z die des Zinks. Da nun das Verhältnifs der Ausdehnung des Eisens und Zinks (XVI. Tab.) $\frac{1}{790} : \frac{1}{540}$ oder $1 : 2{,}324$ ist, so ergiebt sich für jene Formel $l = L\frac{1}{2{,}324 - 1} = 0{,}755.\ L.$

Eine der einfachsten und sinnreichsten Compensationen i
die zuerst von Graham (1721) versuchte Quecksilbe
Compensation. Gewöhnlich besteht diese aus einer eisern
Pendelstange AB Fig. 244, an deren unterem Ende ein Büg
angebracht ist, in welchem ein Glasgefäfs BC zur Aufnahm
des Quecksilbers steht. — Die Theorie dieses Pendels ist ebe
falls sehr einfach. Da der Schwingungspunct S des Pend
sich nahe in der Mitte des Quecksilbercylinders BC oder a
seiner halben Höhe befindet, so mufs, wenn sich durch Z
nahme der Wärme die Pendelstange AB um Ss verlänger
der bis s herabgesunkene Schwingungspunct durch die na
eben eintretende Ausdehnung der Quecksilbersäule CB um eb
so viel, nämlich wieder bis S, gehoben werden. Diefs g
schieht aber dann, wenn die Ausdehnung der Quecksilbersä
CB doppelt so viel beträgt als die Verlängerung der Pend
stange AB, nämlich wenn der Raum Cc, um den sich d
Quecksilber im Gefäfse erhebt, gerade noch einmal so grofs
Ss ist. — Gesetzt nun, die Entfernung des Aufhängepunc
vom Schwingungspuncte oder die Länge des Secundenpend
zu Dresden mäfste 440,35 Par. Lin. = 36,7 Par. Zoll betrag
so würde in Fig. 244 die Länge AS = 36,7 Par. Zoll sein.
BS ist die halbe Höhe des Quecksilbers im Gefäfse, AB
ganze Länge der eisernen Pendelstange. Drückt man durch
die verhältnifsmäfsige Ausdehnung des Eisens und durch q
des Quecksilbers aus, so wird sich AB um $e \,.\, AB$ und SB
$q \,.\, SB$ ausdehnen. Sollen sich diese Ausdehnungen gegensei
aufheben, so mufs $e \,.\, AB = q \,.\, SB$ sein. Nach Obigem
aber $AB = 36{,}7 + SB$, also erhält man die Gleichung:

$$e\,(36{,}7 + SB) = q.\,SB,$$

$$\text{folglich } SB = \frac{e.\,36{,}7}{q - e}$$

Die Ausdehnung des Eisens beträgt aber nach Dulong u
Petit (s. Tabelle XVI) zwischen den Grenzen von 0° u
+ 100° C., 0,00126, und die Ausdehnung des Quecksilbers na
denselben Physikern 0,01801, oder nach Horner 0,0175, wo
man auf die Ausdehnung des Glases Rücksicht nimmt, in w
chem sich das Quecksilber befindet. So verhält sich demn

$$e : q = 126 : 1750,$$

oder nahe $= 1 : 14$ und $SB = \frac{36{,}7}{14 - 1} = 2{,}82''$ Par.

Die ganze Höhe des Quecksilber-Cylinders BC würde s
hiernach 5,6 Par. Zoll betragen müssen.

Das Quecksilber-Pendel, eben so auch das Rostpendel,
aber nun noch nach den damit angestellten Beobachtungen
reguliren oder zu corrigiren. Bei ersterem bewirkt man

Correctionen dadurch, dafs man kleine Massen von Quecksilber in dessen Gefäfs zugiefst oder daraus herausnimmt, während diefs bei letzterem durch Hinauf- und Herunterschrauben des Schwingungspunctes geschieht.

Welchen bedeutenden Einfluſs die Wärme auf nicht compensirte Metallpendel ausübt, ergiebt sich aus Folgendem: Eine eiserne Pendelstange von 440 Par. Lin. dehnt sich von 0 bis + 10° C. um 0,000126. 440 = 0,055″ Par., eine eben so lange messingene Pendelstange um 0,000187 . 440 = 0,082″ Par. aus. Da nun eine Vergröſserung der Pendellänge von 0,01″ Par. eine Verspätung des Ganges der Uhr in 24 Stunden von nahe 1 Secunde zur Folge hat, so ergiebt sich, dafs eine Uhr, welche bei 0° richtig ging, bei + 10° C., wenn sie ein eisernes Pendel hat, in einem Tage um 5,5 Sec. und, wenn sie ein messingenes Pendel hat, um 8,2 Sec. zurückbleibt.

Auch die Compensation der Taschenchronometer beruht auf demselben Princip, indem man durch Vereinigung verschiedenartiger Metalle die isochronischen Schwingungen der sogenannten Unruhe zu erzielen sucht.

Ein Mehres über die verschiedenartigen Compensationen findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. 200—211, VII. 388—393. — Marbach's phys. Lex. 400—406. — Handwtb. d. Chem. u. Phys. I. 486—490.

3) Bei metallenen Wasser-, Dampf- oder Gasleitungen müssen die sogenannten Ausgleichungsröhren, welche die unbeschadete Ausdehnung und Zusammenziehung der einzelnen Röhrenstücke zulassen, angebracht werden. Aehnliche Vorsichtsmafsregeln sind bei den Schienen der Eisenbahnen und bei langen metallenen Maschinentheilen zu beobachten. Defshalb ist auch an metallenen Kesseln und Pfannen ringsum noch ein Zwischenraum zu lassen, um ihren Volumensveränderungen den nöthigen Spielraum zu verschaffen.

Auf der Ungleichheit der Ausdehnung und Zusammenziehung verschiedener mit einander verbundener oder verschieden erwärmter Körper und Körpertheile beruht unter Anderem auch das Springen eiserner Ofenplatten, gufseiserner Geschützröhre, gläserner Gefäfse, metallener Dachbedeckungen und des Eises bei strenger Kälte, eben so das Zerreifsen eiserner Klammern in Gebäuden, die man bei grofser Kälte befestigt hatte. Defshalb müssen in Gemäuer, z. B. in Fenstergewände, eingesetzte Eisenstangen an dem einen Ende einen freien Spielraum behalten. Im Allgemeinen entsteht ein solches Zerreifsen oder Zerspringen um so leichter, je spröder die Körpermasse ist, ein je gröfserer und schnellerer Temperaturwechsel erfolgt, und je langsamer sich derselbe durch den ganzen Körperstoff ausgleichen kann. Hieraus erklärlich ist es daher, warum dünne

Gläser bei schneller Erhitzung und Abkühlung nicht so leic springen als starke. — Die Eigenschaft des Glases, dafs dasselb wenn es an einzelnen Stellen stark erhitzt und hierauf schn abgekühlt wird, an diesen Stellen zerspringt, wird zu ma chen technischen Zwecken, namentlich in der praktischen Ch mie, angewendet. (S. Berzelius, Chemie, 3te Aufl. X. A Glassprengen 313.)

Die Kraft, mit welcher sich erhitzte Körper ausdehnen, i im Stande, ungeheuere Hindernisse zu überwinden. Man ka durch sie die Kraft der stärksten Pressen ersetzen. Eben verhält es sich mit ihrem Zusammenziehen bei'm Erkalt Molard hat dadurch zu Paris die stark gewichenen Mau eines Gebäudes wieder in ihre normale Lage zurückgefüh Hieraus ist es auch erklärlich, warum man die Radreifen he über die Felgen der Räder treibt, und warum Ringe und Bä der, welche Hölzer fest zusammenhalten sollen, ebenfalls i heifsen Zustande angelegt werden müssen.

§. 381.

Tropfbare Flüssigkeiten dehnen sich (wie bereits §. 3 bemerkt wurde) bei Zunahme ihrer Temperatur im A gemeinen stärker aus als die starren Körper. Die Grö der absoluten Ausdehnsamkeit ist, eben so wie bei d festen Körpern, auch bei jeder Flüssigkeit eine ande Fast alle bis jetzt untersuchte Flüssigkeiten zeigen ab nicht so wie die festen Körper innerhalb gewisser Tem raturgrenzen eine der Wärme proportionale Veränder ihres Volumens, sondern man hat an ihnen ein progressiv Wachsen der Ausdehnung bei steigender Temperatur wah genommen. Nur das Quecksilber macht hiervon in so w eine Ausnahme, als sich dasselbe zwischen — 25° C. u + 100° C. oder zwischen — 20° R. und + 80° R. der Wärm Zu- und Abnahme vollkommen proportional verände (Man vergl. die Tabelle in der Anmerk. zu §. 373.)

Die wichtigsten Flüssigkeiten, deren Ausdehnsamkeit n genau zu ermitteln gesucht hat, sind das Wasser, das Que silber und der Alkohol.

Die Ausdehnsamkeit von 0° bis + 100° beträgt bei'm W ser 0,04292798 = $\frac{1}{23}$, bei'm Quecksilber 0,01801802 = $\frac{1}{55}$, be absol. Alkohol 0,12548 = $\frac{1}{8}$ seines Volumens.

e Volumensänderung des Wassers ist sehr oft untersucht
n. Es bietet diese Flüssigkeit die merkwürdige Erscheinu
ar, dafs sie nicht im Gefrierpuncte, also bei'm Erstarren,
größte Dichtheit annimmt, sondern sich bei dieser Um
lung der Aggregatform mit einer aufserordentlichen Kraft
nt. — In Warschau wurden während des Winters von
1829 über die Kraft, mit welcher das Wasser sich bei'm
ren auszudehnen strebt, Versuche angestellt. Zu diesem
e wurden gufseiserne Hohlkugeln mit Wasser gefüllt,
Füllöffnung mit einer eisernen Schraube verschlossen und
der Kälte ausgesetzt. Eine dieser Kugeln barstete in zwei
che Theile, wovon der kleinere 10, der gröfsere 7 Pfds
rt und Stelle geschleudert wurde; eine andere barstete
ls in zwei Stücke, wovon das eine 4 Fufs weit hinweg-
Fechner, Repertorium d. Exper. Phys. II. 424.) Eben
nlafst auch die Ausdehnkraft des frierenden Wassers
nbedeutende Veränderungen in der Oberflächenbildung
r Erde, namentlich in Hochgebirgen, wie z. B. in der
iz. — Während aus früheren Versuchen der Punct der
m Dichtheit des Wassers bei + 4,1° C. zu liegen schien,
die genauesten neueren Untersuchungen von Munke
tampfer ergeben, dafs er bei +3,78° oder bei +3,75°C.=3°R.
man vergl. hierzu die XI. Tab. des Anhanges). — Wich-
t dieser Eigenschaft wegen der Bildung des Eises auf
n und im Meere. — Nothwendigkeit der Temperatur-
mung des Wassers bei der genauen Ermittelung des spe-
en Gewichtes der Körper (man vergl. hiermit die Anmerk.
178 u. 181.)

e Volumensänderung des Quecksilbers ist hauptsächlich
t des Einflusses, welcher daraus auf den Barometerstand
ingt (§. 204), häufig untersucht worden. Nach der neue-
nd sorgfältigsten Ermittelung von Flaugergues hat sich
m, dafs sich das Quecksilber zwischen — 25° C. und
° C. ganz gleichförmig verändert, und zwar beträgt des-
usdehnung nach Dulong und Petit für 1° C. $\frac{1}{5550}$ =
0018, und für 1° R. $\frac{1}{4440}$ = 0.000225225. In Folge dieser
mäfsigkeit seiner Ausdehnung ist das Quecksilber auch
erzüglichste und am häufigsten gebrauchte Flüssigkeit
e gewöhnlichen Thermometer. (Vergl. die Anmerkung
371.)

e Ausdehnung des Alkohols ist ebenfalls wegen seiner
ng Verwendung als thermoskopische Substanz, namentlich
chtungen sehr niederer Temperaturen, mehrfach unter-
worden. Als die neuesten und zuverlässigsten Resultate
n wohl die von Munke gelten. Nach ihm zeigt abso-
lkohol (von 0,806 bei 0°) eine mit steigender Temperatur

zunehmende Ausdehnsamkeit, welche, wenn man die höheren Decimalstellen nicht berücksichtigt, für jeden Centigrad als 0,001, das Volumen des Alkohols bei 0° C. = 1 gesetzt, anzunehmen ist; genau aber ergiebt sich für + 24° statt 0,024 eine Volumensvermehrung von 0,025. Dieselbe Gesetzlichkeit zeigte dieser Alkohol auch unter 0°, indem sich seine Zusammenziehung in gleichem Verhältnisse des Volumens verminderte.

Aus Munke's Untersuchungen hat sich ferner ergeben, daſs der absolute Alkohol die gröſste Ausdehnsamkeit besitzt, und daſs diese um so mehr abnimmt, je mehr Wasser er enthält. Für + 50° C. z. B. ist das Volumen des absoluten Alkohols = 1,056071, des nicht völlig absoluten (von 0,808 specifischem Gewicht bei + 12,5° C.) = 1,054394 und des Wassers = 1,011570.

Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. 585–625. X. 902–902. — Marbach's phys. Lex. I. 104–124.

§. 382.

Da alle luftförmige Körper an sich schon stets das Bestreben haben, sich auszudehnen oder ihr Volumen zu vergröſsern (§. 184), so findet in ihnen die Ausdehnkraft der Wärme nicht so, wie dieſs bei den starren und flüssigen Körpern der Fall ist, durch die Cohäsion der Massentheilchen einen Widerstand. Deshalb ist man berechtigt, die Wirkung der Wärme an luftförmigen Stoffen als den sichersten Maſsstab für die freie Wärme zu betrachten, da sie hier keinen Cohäsionswiderstand zu überwinden hat.

Unsere atmosphärische Luft und alle Gase dehnen sich nahe um gleichviel und dabei der Wärmezunahme fast ganz proportional aus. Die absolute Gröſse dieser Ausdehnung ist weit gröſser als bei starren und flüssigen Körpern, und zwar beträgt sie von 0 bis 100° C. 0,3665 oder $\frac{11}{30}$ des Volumens, welches sie bei 0° besitzen, so daſs die Ausdehnung für jeden Centigrad zu 0,00366 oder $\frac{11}{3000}$ und für jeden Octogesimalgrad zu 0,00457 oder $\frac{11}{2400}$ anzunehmen ist.

Bisher wurde von allen Physikern nach früheren Versuchen von Gay-Lussac, Dulong und Petit angenommen, daſs sich alle Gase bei gleichen Temperatur-Veränderungen völlig

gleich und der Wärmezunahme vollkommen proportinal ausdehnten. Der nach ihren Versuchen bestimmte Ausdehnungs-Coefficient von 0 bis 100° C. betrug 0,375 oder $\frac{3}{8}$ ihres Volumens. Rudberg erhob in den letztverflossenen Jahren zuerst Zweifel gegen die Richtigkeit dieses Werthes, und durch die erst kürzlich bekannt gemachten ausführlichen Versuche von Magnus und Regnault wurde dieſs bestätigt, so daſs der von diesen Physikern auf verschiedenen Wegen fast ganz gleich gefundene Ausdehnungs-Coefficient von 0,3665 für atmosphärische Luft von nun an als der richtige anzunehmen ist.

Zugleich entdeckte aber auch Magnus und Regnault, daſs dieser Ausdehnungs-Coefficient für andere Gase nicht ganz derselbe war, und zwar fanden sie bei den von ihnen untersuchten Luftarten folgende Werthe:

		Regnault.	Magnus.
für	Wasserstoffgas	0,36613	0,365659
-	Stickstoff	0,36682	—
-	Kohlenoxydul	0,36688	—
-	Kohlensäure	0,37099	0,369087
-	Stickstoffoxydul	0,37195	—
-	Cyan	0,38767	—
-	schwefl. Säure	0,39028	0,385618.

Regnault hat aber auch aufserdem gefunden, daſs dieser Ausdehnungs-Coefficient veränderlich ist, und zwar mit der Verdichtung der Gase zunimmt, jedoch in einem weit geringeren Verhältnisse als diese, und daſs dieses Wachsthum nicht bei allen Gasen gleich ist. Für nachstehende Gase giebt er die beigefügten Werthe an.

Druck bei 0°.	Druck bei 100°.	Dichte d. Gase b. 0°, die der Luft b. 0° und 760mm = 1.	Ausdehnungs-Coefficient $1 + 100\,\alpha$.
		Atmosphärische Luft.	
109,72mm	149,31mm	0,1444	1,36482
760,00	....	1,0000	1,36587
3655,56	4992,09	4,8100	1,37091
		Kohlensäure.	
758,47	1034,54	1,0000	1,36856
3598,07	4759,03	4,7318	1,38598

In der dritten Spalte findet man die Dichtheiten der Gase bei 0° Wärme angegeben. Man sieht, daſs diese

bei der atmosphär. Luft von 0,1444 bis 4,8100 oder von 1 bis 33,3

- - Kohlensäure - — - — - - 1 - 4,732

variirt, und für eine so beträchtliche Verschiedenheit wechselte der Ausdehnungs-Coefficient

bei der atmosphär. Luft nur von 1,3648 bis 1,3709, also um 0,0061
- - Kohlensäure - - 1,36856 - 1,38598 - - 0,0174

Es ergiebt sich ferner hieraus, dafs die Ausdehnsamkeit der Kohlensäure in einem gröfseren Verhältnisse mit dem Drucke zunimmt als die der atmosphärischen Luft, wogegen Regnault bei Versuchen mit Wasserstoff fand, dafs dieses Gas seine Ausdehnsamkeit fast gar nicht ändert.

(Poggendorf's Annal. LV. 1 bis 391 und 588, LVII. 115 bis 150. — Erdmann, Marchand, Journ. f. prakt. Chemie XXV. 170, 298, XXVI. 1. 287. XXVII. 190.)

Nennt man das Volumen eines Gases bei 0° V, bei $t°$ über oder unter 0° v, und c den Ausdehnungs-Coefficient für 1°, so ist, vorausgesetzt, dafs der Luftdruck oder Barometerstand derselbe bleibt,

$$V : v = 1 : \pm ct,$$
$$\text{folglich } v = V(\pm ct).$$

Diefs giebt:

I.) $\begin{cases} \text{für C°} & v = V(1 \pm 0{,}00366\ t) \\ \text{für R°} & v = V(1 \pm 0{,}00457\ t) \end{cases}$

Bezeichnet ferner b den normalen, b^1 den beobachteten Barometerstand, v das Volumen des Gases bei b und v^1 das Volumen bei b^1, so ist nach Mariotte's Gesetz (§. 202)

$$v : v^1 = b^1 : b,$$
$$\text{also } v^1 = \frac{vb}{b^1} = \frac{b}{b^1} \cdot V(1 \pm ct.)$$
$$\text{und } V = \frac{b^1}{b} \cdot \frac{v^1}{(1 \pm ct)}$$

Diefs giebt:

II.) $\begin{cases} \text{für C°} & v^1 = \frac{b}{b^1} \cdot (1 \pm 0{,}00366\ t) \\ \text{für R°} & v^1 = \frac{b}{b^1} \cdot V(1 \pm 0{,}00457\ t) \end{cases}$

III.) $\begin{cases} \text{für C°} & V = \frac{b^1}{v} \cdot \frac{v^1}{(1 \pm 0{,}00366\ t)} \\ \text{für R°} & V = \frac{b^1}{b} \cdot \frac{v^1}{(1 \pm 0{,}00457\ t)} \end{cases}$

Die Formeln I dienen dazu, zu berechnen, wieviel das Volumen einer Gasmenge zu- oder abnimmt, sobald dessen Temperatur um eine gewisse Anzahl von Wärmegraden steigt oder fällt, und dabei unter gleichem Drucke verbleibt; durch Hilfe der Formeln II kann man bestimmen, wie sich ein Gasvolumen bei irgend einem Barometer- und Thermometerstande gegen dasselbe bei 0° Wärme und dem Normal-Barometerstande verhält; und die Formeln III werden angewendet, um das bei irgend einem Thermometer- und Barometerstande beobachtete Vo-

lumen eines Gases auf 0° Wärme und den normalen Barometerstand (gewöhnlich 28 Par. Zoll) zu reduciren.

Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. 625—642, X. 932—938. — Marbach's phys. Lex. I. 125—130.

§. 383.

Ein zweites wichtiges Resultat, welches die mit luftförmigen Stoffen angestellten Versuche ergaben, und das theils aus ihren Eigenschaften, theils aus der ihnen inwohnenden vollkommenen Elasticität (Anmerk. §. 184) entspringt, besteht darin, dafs, wenn irgend eine Gasart in einem Raume eingeschlossen ist, der ihre Ausdehnung bei vermehrter Wärme hindert, ihre Expansivkraft der Wärmezunahme proportional wächst, ohne dafs dadurch die materielle Beschaffenheit des luftförmigen Körpers selbst verändert wird.

Die durch die Wärme zunehmende Expansivkraft wird auf gleiche Weise durch ihren ausübenden Druck gemessen, wie bei der comprimirten Luft (§. 250).

Wächst die Expansivkraft durch Vermehrung der Wärme so weit, dafs sie den Widerstand des sie einschliefsenden Körpers überwinden kann, so wird dieser dann durch die Ausdehnung der Luft in der Richtung fortbewegt, in welcher er ausweichen kann.

Versuch. Sobald man daher die Luft in einem Heronsball, welche sich über dem Wasser befindet, erwärmt, so beginnt das Springen desselben.

Eben deshalb wird auch durch die bei'm Verbrennen von Schiefspulver frei werdende bedeutende Wärmemenge die Expansivkraft des Pulvergases oder die Wirkung desselben bedeutend erhöht.

III. Bewegung oder Verbreitung der Wärme.

§. 384.

Die freie Wärme sucht sich bei allen Körpern in's Gleichgewicht zu setzen, d. h. sie zeigt das Bestreben, sich zwischen allen Körpern so zu vertheilen, dafs sie auf gleiche

Temperatur kommen. Es beweist dieſs die tägliche Erfahrung, indem alle wärmere von kälteren umgebene Körper so lange ihre freie Wärme an diese abgeben, bis alle eine gleiche Temperatur angenommen haben. Die hierzu erforderliche Zeit wird durch die Materie der Körper und ihrer Umgebung, durch ihre Masse und durch die Gröſse sowohl, als auch durch die Beschaffenheit der Oberfläche bedingt.

Jene Bewegung und Aequilibrirung der freien Wärme erfolgt auf zweierlei Art, nämlich durch die sogenannte **Strahlung** oder **Ausstrahlung** und durch **Leitung** oder **Fortleitung**. Es unterscheiden sich diese beiden Arten der Fortpflanzung hauptsächlich dadurch, daſs bei der ersteren die Verbreitung von einem Körper zum andern durch den Raum hindurch, der sie von einander trennt, vor sich geht, während bei der letzteren die Verbreitung im Innern der Körpermaterie selbst eintritt.

A. Von der strahlenden Wärme.

§. 385.

Bei der **Ausstrahlung** befindet sich die freie Wärme im Zustande ihrer gröſsten Beweglichkeit und verhält sich während dieses Zustandes in den meisten Beziehungen vollkommen wie das Licht.

Von allen Körpern, sie mögen eine Temperatur haben, welche sie wollen, findet eine Wärmestrahlung statt, und zwar **geht dieselbe von ihren Oberflächen in gerader Linie nach allen Richtungen, also radial**, vor sich. Sie verbreitet sich daher eben so, wie von selbstleuchtenden Körpern das Licht, und **Wärmestrahlen** haben in dieser Beziehung eine gleiche Bedeutung wie Lichtstrahlen (§. 282).

Es mufs deshalb auch bei dieser Wärmeverbreitung dieselbe Gesetzlichkeit stattfinden, wie bei allen von einem Puncte radial ausgehenden Wirkungen (z. B. bei der Gravitation §. 34, dem Schalle §. 267, dem Lichte §. 286), dafs nämlich **die Stärke oder Intensität der Wärmestrahlung mit der Entfernung abnimmt und zwar im Verhältnifs des Quadrates derselben.** Ritchie und Melloni haben dieſs in neuerer Zeit auch durch Versuche bestätigt.

Von der radialen Verbreitung der strahlenden Wärme überzeugt man sich sehr einfach, wenn man das Gesicht gegen einen stark geheizten Ofen, gegen einen glühenden Körper u. dergl. wendet. Man empfindet dann eine merkliche Wärme im Gesichte, und zwar um so stärker, je mehr man sich dem wärmestrahlenden Körper nähert. Es verschwindet diese Wirkung aber sogleich, wenn in gerader Linie zwischen das Gesicht und die Wärmequelle ein Körper kommt, welcher die Wärmestrahlen auffängt. — Meſsbar läſst sich diese Wirkung durch folgenden Versuch nachweisen.

Versuch. In der Nähe eines erhitzten Metallkörpers *E* Fig. 245 bringe man die Kugel eines empfindlichen Luftthermometers *L*, stelle aber zwischen diese und die Wärmequelle einen Schirm *S*, der die Wärmestrahlen auffängt. — Das Thermometer wird in diesem Falle keine Temperaturerhöhung anzeigen. Sobald man aber den Schirm wegnimmt, oder noch besser die in seiner Mitte angebrachte und verschlossene Klappe *O* öffnet, so dafs die Wärmestrahlen von *E* in gerader Linie die Kugel *L* des Luftthermometers treffen können, so zeigt derselbe augenblicklich die Gröfse dieser Einwirkung an, welche zunimmt, wenn man die Kugel des Thermometers der Oeffnung des Schirmes nähert.

§. 386.

Diese Wärmeverbreitung erfolgt mit einer aufserordentlich grofsen Geschwindigkeit. Man nahm sie bisher als eben so grofs wie die des Lichtes an, und erst in der neuesten Zeit will man die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme der Sonne $\frac{1}{4}$mal so grofs als die des Lichtes, nämlich zu 33600 geogr. Meilen gefunden haben.

Die eben angeführte Fortpflanzungs-Geschwindigkeit
Wärme hat v. Wrede durch einen höchst sinnreichen
zarten Versuch bestimmt. Die Untersuchungen bei demsel
gründen sich darauf, dafs, wenn die Wärme und das Licht
den Sonnenstrahlen ungleiche Fortpflanzungs-Geschwindigkei
besitzen, sie dann auch eine ungleiche Aberration (§. 291
merkung) haben, folglich das Licht- und das Wärmebild
Sonne in einem Fernrohre einander nicht vollständig de
können, sondern in einer der Ekliptik parallelen Richtung
gen einander verschoben sein müssen. Eine Folge hiervon
nun, dafs die Temperatur an dem östlichen und westlich
Rande des Sonnenbildes nicht dieselbe sein kann. Durch E
eines in dem Fernrohr angebrachten thermoelektrischen Wär
messers (wovon man in der Thermoelektricitätslehre eine
schreibung findet) zeigte sich dann auch die Temperatur
Ostrande des Sonnenbildes gröfser als am Westrande, al
Geschwindigkeit der Wärmestrahlen kleiner als die der
strahlen. Das aus mehren Beobachtungen durch Rechnung
fundene Mittel ergab das oben angeführte Verhältnifs.
Beobachter bemerkt jedoch allerdings, dafs die erforderli
Anzahl von Beobachtungen noch nicht hätte angestellt wer
können, um mit voller Sicherheit das gefundene Resultat
verbürgen. (S. Poggendorf's Annal. LIII. 602.)

§. 387.

In Bezug auf diese Art der Wärmeverbreitung zeig
die Körper ein verschiedenes, sich aber gegenseitig b
dingendes Verhalten für die Ausstrahlung, für die Zurüc
werfung, für das Eindringen und für das Durchdring
der Wärmestrahlen durch ihre Materie, wobei sich ebe
falls die auffallendste Analogie zwischen der strahlend
Wärme und dem Lichte unverkennbar herausstellt. M
hat daher bei jedem Körper insbesondere sein Strahlung
oder Emissionsvermögen, sein Zurückwerfung
oder Reflexionsvermögen, sein Eindring- oder A
sorptionsvermögen und sein Durchlassungs- od
Transmissionsvermögen für die strahlende Wär
zu untersuchen.

§. 388.

Das Wärme-Strahlungs- oder Emission
vermögen eines Körpers hängt von seiner Temperat

und von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Im Allgemeinen sendet ein Körper desto mehr und desto intensivere Wärmestrahlen aus, je höher seine Temperatur ist. Bei gleicher Temperatur aber strahlen Körper mit metallischer Oberfläche weniger Wärme aus als andere, und solche, deren Oberfläche glatt und polirt ist, überhaupt weniger als jene, die eine rauhe Oberfläche haben.

Diesen Einfluſs hat Leslie durch folgenden Versuch nachgewiesen:

Versuch. Es dient hierzu ein hohler Würfel von verzinntem Eisenblech. Die eine Seite desselben wird polirt, die zweite matt abgerieben, die dritte mit einer Glasplatte bedeckt und die vierte mit Lampenruſs geschwärzt. — Wird dieser Würfel mit kochendem Wasser angefüllt, so zeigt dann jede Seite desselben ein anderes Strahlungsvermögen auf ein in gleicher Entfernung davon aufgestelltes Lufthermometer, und zwar die polirte Seite das geringste, die berusste das stärkste.

Leslie fand das Strahlungsvermögen für

Lampenruſs	100	Mattes Blei	45
Wasser	100	Quecksilber	20
Schreibpapier	98	Polirtes Blei	19
Glas	90	Polirtes Eisen	15
Chinesische Tusche . .	88	Zinn, Silber, Kupfer, Gold	12
Eis	85		

§. 389.

Die auf einen Körper fallenden Wärmestrahlen werden von der Oberfläche desselben nach denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlen (§. 294) zurückgeworfen. Dieses Reflexionsvermögen der Körper oder ihre Wärmespiegelung zeigt sich nach der Beschaffenheit der Oberfläche und der Körpermaterie verschieden. Am vollkommensten werden die Wärmestrahlen von polirten Metallen und unter diesen nach Leslie vom Messing, nach Nobili und Melloni vom Quecksilber und Kupfer zurückgeworfen. Alle nicht metallische Substanzen besitzen aber fast gar kein Reflexionsvermögen, wie auch ihre Oberflächenbeschaffen sein mögen.

Nach Leslie verhält sich das Reflexionsvermögen einiger Körper wie folgende Zahlen:

Messing	100	Blei	60
Silber	90	Zinnfolie mit Quecksilber überzogen	10
Zinnfolie	85	Glas	10
Blockzinn	80	Glas mit Wachs oder Oel überzogen	5
Stahl	70		

Nachstehende Versuche liefern den Beweis, dafs die Zurückwerfung der Wärmestrahlen nach denselben Gesetzen wie die der Lichtstrahlen erfolgt.

Erster Versuch. Bringt man in den Brennpunct *a* eines metallenen, am befsten messingenen, Hohlspiegels *mn* Fig. 148 Tab. V eine glühende eiserne Kugel oder einen anderen stark erhitzten Körper, so werden die auf die Spiegelfläche treffenden Wärmestrahlen prallel zur Achse des Spiegels zurückgeworfen. — Ein empfindliches Lufthermometer, welches man vor dieser Spiegelfläche aufstellt, wird in bedeutender Entfernung von derselben afficirt, während es aufserhalb dieser zurückgeworfenen Wärmestrahlen wenig oder gar nicht verändert wird.

Zweiter Versuch. Stellt man einen zweiten solchen Hohlspiegel *op* Fig 148 dem ersten so gegenüber, dafs ihre Achsen in dieselbe gerade Linie fallen, bringt dann in den Brennpunct dieses zweiten das Thermometer, so zeigt dasselbe, selbst wenn die Spiegel 20 Fufs und weiter von einander entfernt sind, eine schnelle Temperaturzunahme an. — Der zweite Spiegel *cp* reflectirt und vereinigt nämlich die auf ihn vom ersten Spiegel parallel zurückgeworfenen Wärmestrahlen sämmtlich in seinem Brennpuncte. — Dasselbe Resultat hat man auch in dem möglichst luftverdünnten Raume des Recipienten einer Luftpumpe erhalten, woraus sich folgern läfst, dafs die Wärmestrahlung im luftleeren Raume eben so vor sich geht, wie in der Atmosphäre.

Auf diese Weise kann man auch mit hinlänglich grofsen und guten Hohlspiegeln bei einer richtigen Aufstellung derselben, sobald in den Brennpunct des einen eine glühende Holzkohle gebracht wird, die man durch Anfachen im glühenden Zustande erhält, im Brennpuncte des anderen Spiegels Zunderschwamm entzünden, auch wenn die Spiegel 40 bis 50 Fufs von einander entfernt stehen.

Dritter Versuch. Bringt man aber in dem Brennpuncte des einen Spiegels statt eines glühenden Körpers ein Stück Eis oder ein Gefäfs mit einer Frostmischung (s. §. 407) an, so zeigt dann ein in dem Brennpuncte des anderen Spiegels aufgestelltes empfindliches Thermometer Temperaturerniedrigung. — In

diesem Falle strahlt nämlich der Thermometer mehr Wärme aus als das Eis, und deshalb muſs es eine Abnahme der Wärme erleiden.

Bei allen drei Versuchen läſst sich zugleich nachweisen, daſs diese Bewegung der Wärme mit sehr groſser Geschwindigkeit erfolgt. Man darf nämlich nur nahe vor den ersten Spiegel einen Schirm von Glas, Holz, Papier oder Metall aufstellen, welcher die von diesem Spiegel reflectirten Wärmestrahlen auffängt, so bleibt der Thermometer unverändert. In demselben Augenblicke aber, wo man den Schirm wegzieht, tritt auch die Veränderung des Thermometers ein. Am schnellsten zeigen dieſs die höchst empfindlichen thermoelektrischen Wärmemesser an.

§. 390.

Jeder von Wärmestrahlen getroffene Körper wirft nach dem Vorangehenden nur einen gewissen Theil derselben von seiner Oberfläche wieder zurück, die übrigen dringen in das Innere der Körpermasse ein, verlieren dann ihr Strahlungsvermögen und erhöhen dadurch die Temperatur derselben und zwar im Verhältniſs der Menge der absorbirten Wärmestrahlen. Dieses Absorptionsvermögen der Körper verhält sich daher umgekehrt wie ihr Reflexionsvermögen und bei vielen Körpern direct wie ihre Ausstrahlung; d. h. die Körper, welche die Wärme stark und schnell ausstrahlen, erwärmen sich auch stärker und schneller, wenn sie der Wärmestrahlung ausgesetzt sind. Ferner hat sich auch noch ergeben, daſs die Erwärmung am schnellsten erfolgt, wenn die Wärmestrahlen senkrecht auf die Oberflächen fallen, dagegen um so langsamer und so weniger, je mehr der Einfallswinkel von dem rechten abweicht, so daſs sich also auch in dieser Beziehung die Wirkung der Wärmestrahlen eben so wie die der Lichtstrahlen verhält. (Vergl. §. 299.)

Bleibt die Temperatur eines Körpers unverändert oder stationär, so ist als Ursache dieses Gleichgewichtes anzunehmen, daſs die Menge der Wärme, die er ausstrahlt,

und die ihm von seiner Umgebung ebenfalls durch Strahlung zugesendete, welche von seiner Oberfläche ganz od theilweise absorbirt wird, einander gleich sein müssen. Hie auf beruht das Princip des beweglichen Gleich gewichtes von Prevost. Diese Gleichheit des Wärm Austausches durch Strahlung findet aber nur bei all den Körpern statt, welche keine Wärmestrahlen durch ih Materie hindurchgehen lassen, woraus denn folgt, dafs d Absorptionsvermögen der Körper zugleich auch von ihre Transmissionsvermögen abhängig ist.

Leslie und Ritchie waren bemüht, direct durch Ve suche das Verhältnifs zwischen dem Strahlungs- und Absorp tionsvermögen der Körper aufzusuchen, und fanden dabei alle dings, dafs die Stärke der Ausstrahlung von der Stärke d Einstrahlung bei der Gleichheit der Oberfläche gleicher Kör nicht verschieden ist. Inzwischen bezogen sich die erhalten Resultate blos auf verschiedene mit Kienrufs überzogene Ob flächen unter den vorher bemerkten Bedingungen, es ist alle aber keineswegs für alle übrige Substanzen gültig, wie gan sehr sorgfältige und feine Versuche von Melloni bewies haben. (Vergl. hiermit Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 4 u. 475.)

Dafs aber, kleine Differenzen abgerechnet, der oben ang führte Satz über das Gleichheitsverhältnifs zwischen Aus- u Einstrahlung der Wärme richtig ist, davon kann man sich leic durch folgende Versuche überzeugen:

Erster Versuch. Nimmt man eine Glastafel, belegt ei ihrer Seiten zur Hälfte mit Zinnfolie, hält sie mit der zu Theil bekleideten Seite gegen eine stark strahlende Wärm quelle, z. B. gegen einen recht heifsen Ofen oder gegen glühen Kohlen, und berührt dann die hintere Seite mit der Hand, fühlt man hinter der Metallbekleidung kaum einige Erwärmun während diese hinter dem unbelegten Theile der Glastafel m merklich ist. — Wendet man aber die unbekleidete Seite d Tafel gegen die Wärmestrahlen, so wird man dann die Wi ung gerade umgekehrt finden. — Ein noch auffallenderer Unt schied zeigt sich aber, sobald man die andere Hälfte der Gl tafel auf der Seite, wo sie mit Zinnfolie belegt ist, mit Ki rufs schwärzt.

Zweiter Versuch. Schwärzt man die eine Seite ei Rumford'schen Differenzial-Thermometers (§. 375) mit Kienr

und läfst die eine Hälfte der anderen Kugel mit Blattgold oder Blattsilber belegen, so zeigt dann die geschwärzte Kugel ein stärkeres Einstrahlungsvermögen als die unbelegte Hälfte der anderen Glaskugel, und ein noch gröfserer Unterschied findet statt, wenn die Wärmestrahlen auf die mit dem Metall belegte Hälfte der Kugel fallen; nur müssen beide Kugeln ganz gleich von den Wärmestrahlen getroffen werden, was am einfachsten dadurch zu erlangen ist, dafs man beide dem Sonnenlichte exponirt. Deshalb schwärzt man auch die Kugeln anderer Thermometer, um diese Instrumente dadurch empfindlicher für die Wärmeaufnahme zu machen.

Sobald daher ein Körper mehr Wärme ausstrahlt, als er von anderen ihn umgebenden empfängt, so mufs seine Temperatur sinken. Dafür spricht schon der dritte Versuch des §. 389. Man hat in dieser Beziehung aber auch Untersuchungen zwischen der von unserer Erdoberfläche in den Himmelsraum ausgestrahlten Wärme und der ihr aus diesem von anderen Himmelskörpern, z. B. den Fixsternen, zugesendeten angestellt. Zu diesem Zwecke stellte man einen metallenen Hohlspiegel so auf, dafs seine Spiegelfläche, gegen den Himmelsraum gerichtet, die von diesem auf sie fallenden Wärmestrahlen im Brennpuncte vereinigen mufste. Befand sich nun in letzteren ein empfindliches Luftthermometer, so sank dessen Temperatur bei heiterem Himmel unter die der es umgebenden Luft, während bei bedecktem Himmel diefs nicht geschah. Im ersteren Falle war also die Ausstrahlung der Wärme von der Erde gröfser als die Zustrahlung derselben aus dem Himmelsraume. Dieser Versuch rührt von Wells her, und Delaroche glaubt, dafs die bei bedecktem Himmel vorhandenen Wolken gleichsam die Schirme abgeben, welche die Wärmestrahlen der Erde nicht über sich hinaus entweichen lassen.

Das in diesem §. erklärte, sich gegenseitig bedingende Verhältnifs zwischen Ausstrahlung, Absorption und Reflexion läfst sich auch unter einer mathematischen Form darstellen. Bezeichnet nämlich w diejenige durch das Thermometer mefsbare Wärmemenge, welche die auf einen Körper treffenden Wärmestrahlen in einer gewissen Zeiteinheit hervorbringen, von welcher der Theil $\frac{w}{m}$ absorbirt, und der übrige $(1 - \frac{1}{m})\,w$ wieder reflectirt wird, so werden die Brüche $\frac{1}{m}$ und $\frac{m-1}{m}$ das Absorptions- und Reflexionsvermögen der Oberfläche für die Wärme darstellen. Der Werth von m ist nach der Natur der Stoffe veränderlich, und richtet sich nach der Temperatur t des strahlenden Körpers, doch ist dabei gültig, dafs dieselbe Oberfläche

in derselben Richtung, in welcher $\frac{w}{m}$ in ihr einstrahlt, wenn sie selbst die Temperatur t hatte, auch eine durch $\frac{w}{m}$ dargestellte Wärmemenge ausstrahlen würde.

Von dem Einflusse, den die Beschaffenheit der Oberfläche der Körper auf die Aus- und Einstrahlung der Wärme ausübt, werden theils bei technischen und sonstigen Einrichtungen mancherlei Anwendungen gemacht, theils lassen sich daraus auch mehre Erscheinungen der Wärme erklären. So müssen Körper, welche die Wärme zurückhalten sollen, wie Feuerschirme u. dergl., mit polirter, am besten metallischer Oberfläche versehen werden, wogegen man solchen Körpern, die dazu bestimmt sind, die Wärme schnell zu verbreiten und aufzunehmen, wie Oefen, Kochgeschirre u. dergl., eine rauhe und dunkele Oberfläche geben muſs.

§. 391.

Endlich besitzen auch noch mehre Körper die Eigenschaft, für Wärmestrahlen eben so durchdringbar zu sein, wie die sogenannten durchsichtigen (diaphanen) Körper es für das Licht sind. Man hat diese diathermane (durchstrahlbare), solche aber, welche keine Wärmestrahlen durchlassen, athermane (undurchstrahlbare) Körper genannt.

Vollkommen diatherman sind sämmtliche Gase und der leere Raum (wie auch schon die Versuche 1 bis 3 §. 389 beweisen), bei flüssigen und festen Körpern aber steht das Durchstrahlungs- oder Transmissionsvermögen in keiner näheren Beziehung zu ihrer Durchsichtigkeit. Als völlig atherman aber haben sich bis jetzt alle vollkommen undurchsichtigen Körper, wie z. B. Metalle, bewiesen, woraus sich vermuthen läfst, dafs das Durchstrahlungsvermögen doch von einem gewissen Grade von Durchsichtigkeit des Körperstoffes abhängig ist.

Unter den festen Körpern ist das Steinsalz am meisten und Alaun am wenigsten diatherman, und unter den flüssigen zeigt sich ein gleiches Verhalten zwischen dem

Schwefelkohlenstoff und dem Wasser, obschon die angeführten Stoffe zu den durchsichtigsten gehören, während weit weniger durchsichtige feste und flüssige Körper diathermaner sind.

Delaroche entdeckte zuerst das Transmissionsvermögen des gewöhnlichen weifsen Glases, Melloni aber, dem wir in der neuesten Zeit die wichtigsten Entdeckungen über die strahlende Wärme verdanken, hat in dieser Beziehung auch das Verhalten anderer fester sowohl als flüssiger Körper untersucht und gefunden, dafs bei ihnen ein eben so verschiedener Grad von Durchstrahlbarkeit wie von Durchsichtigkeit stattfindet, und dafs sich jene bei den meisten Körpern mit zunehmender Stärke bis zu einer gewissen Grenze merkbar vermindert. Bei diesen Untersuchungen fand derselbe, dafs, wenn man die Menge der durch die Luft gehenden Wärmestrahlen gleich 100 setzt, die nachstehenden Körper bei einer gleichen Dicke nur folgende Anzahl durchdringen lassen:

Luft	100	Rüböl	30
Steinsalz, klar, . . .	92	Turmalin, grün, . . .	27
Flintglas, klar, . . .	67	Schwefeläther	21
Schwefelkohlenstoff . .	63	Gyps, klar, ...	20
Kalkspath, klar, . . .	62	Schwefelsäure	17
Bergkrystall, klar, . .	62	Salpetersäure	15
Rauchtopas, braun, . .	57	Alkohol	15
Crownglas	49	Alaunkrystall	12
Terpentinöl	31	Wasser	11

(Eine ausführliche Tabelle findet man in Gehler's phys. Wrtb. X. 571.)

§. 392.

Die mit freien Flammen verbundenen Wärmestrahlen, die sogenannten hellen Wärmestrahlen, wozu auch die des Sonnenlichtes gehören, gehen durch alle diathermanen Stoffe, die von anderen glühenden oder blos erhitzten Körpern ausgehenden, die sogenannten dunkelen Wärmestrahlen, werden nur von gewissen Körpern mehr oder weniger durchgelassen. Melloni nimmt deshalb an, dafs die Wärmestrahlen von verschiedener Beschaffenheit sein müssen, und vergleicht dieses Verhalten mit dem Durchlassen der Lichtstrahlen durch verschiedenfarbige durch-

sichtige Körper, indem nur die mit den farbigen Medien gleiche Farben besitzenden Lichtstrahlen frei durch diese dringen, die anderen aber absorbirt werden. Freie Flammen senden gleichzeitig alle Arten von Wärmestrahlen in verschiedenem Verhältnifs aus und sind dem weifsen oder Sonnenlichte vergleichbar, wogegen der Wärme von anderen Quellen gewisse Gattungen fehlen, weshalb die dunkelen Wärmestrahlen dem farbigen Licht ähneln. Die diathermanen Körper zerfallen demnach noch in universell und partiell diathermane, wovon erstere alle Gattungen der Wärmestrahlen oder alle Wärmefarben, letztere aber nur gewisse Wärmestrahlen oder Wärmefarben durchlassen. Unter allen diathermanen Körpern ist das Steinsalz der einzige universell diathermane Körper, indem sich dasselbe zur strahlenden Wärme eben so, wie vollkommen durchsichtiges Glas zum Lichte verhält, alle übrige aber, die den farbigen durchsichtigen Substanzen analog sind, gehören zu den partiellen.

Eine nach Melloni's Untersuchungen hierüber zusammengestellte Tabelle findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 577.

§. 393.

Wärmestrahlen jeden Ursprungs sind auch brechbar wie Lichtstrahlen, d. h. Wärmestrahlen, die durch ein diathermanes Prisma gehen, werden ebenfalls nach den Brechungsgesetzen des Lichtes (§. 305) zur Seite abgelenkt.

Aus dieser Brechbarkeit der Wärmestrahlen folgt denn nun, wie durch Versuche bestätigt wurde, dafs die durch eine diathermane Convexlinse gegangenen Wärmestrahlen sich eben so wie Lichtstrahlen in einem wahren Brennpuncte vereinigen müssen.

Auch hat sich ergeben, dafs die von verschiedenen Wärmequellen ausgehenden Strahlen eine verschieden starke

Brechbarkeit besitzen, und zwar die dunkelen Wärmestrahlen eine geringere als die von leuchtenden Wärmequellen herrührenden. Hierbei spricht sich ebenfalls wieder eine Analogie zwischen Wärme- und Lichtstrahlen aus, da dem verschiedenartigen Lichte (nach §. 321) auch eine verschiedene Brechbarkeit zukommt.

Aus dem eben Angeführten folgt auch noch ferner, dafs, wenn Wärmestrahlen durch ein diathermanes Prisma gehen, von ihnen eben so ein Wärmespectrum wie von den Sonnenstrahlen ein Sonnenspectrum (§. 321) gebildet werden mufs. Diefs ist auch bei den mit dem Sonnenlichte verbundenen Wärmestrahlen der Fall, indem von ihnen ein solches Wärmespectrum gebildet wird, welches aber mit dem der Lichtstrahlen nicht ganz zusammenfällt (§. 363). Die brechbarsten Wärmestrahlen begrenzen ihr Spectrum ungefähr in der Gegend, wo die violette und die blaue Farbe des prismatischen Farbenbildes zusammenstofsen; von da an nimmt die Intensität derselben durch das blaue, grüne, gelbe, orangengelbe und rothe Licht, ja selbst noch ein Stück über dieses hinaus, zu, dann aber vermindert sich dieselbe schnell, und in einer Entfernung von dieser Stelle, welche einem Drittel der Länge des Farbenbildes gleich ist, hört alle Wärmewirkung auf. — Bei dem in Fig. 203 dargestellten Sonnenspectrum bezeichnet (wie §. 321 und 363 angeführt wurde) die schwache Wellenlinie die Intensitätscurve der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen, und die stärkere Wellenlinie auf gleiche Weise die Intensitätscurve der verschiedenen Wärmestrahlen. Letztere ist aber, wie Seebek gefunden hat, veränderlich nach dem Stoffe, woraus das Prisma besteht. Die in dieser Figur ausgedrückten Verhältnisse werden bei einem Steinsalz-Prisma erhalten.

Da das Steinsalz, wie schon im vorigen §. erwähnt, bis jetzt der einzige bekannte universell diathermane Stoff ist, so

muſs man eben so, wie man sich zu den Versuchen über Brechung des Lichtes der Glasprismen und Glaslinsen bedient, zu den Versuchen über die Brechung der Wärme der Prismen und Linsen aus Steinsalz bedienen, weil ein jeder andere diathermane Stoff sich zu den Wärmestrahlen eben so verhält, wie gefärbtes Glas zu den Lichtstrahlen. Eine Convexlinse von Steinsalz vereinigt daher alle Wärmestrahlen in ihrem Brennpuncte, und ein durch Mangan fast bis zur Undurchsichtigkeit violett gefärbtes Brennglas bringt in seinem Brennpuncte durch Vereinigung der von einem Haufen glühender Kohlen kommenden Wärmestrahlen eine weit gröſsere Hitze hervor als ein gewöhnliches Brennglas von gleicher Gröſse.

§. 394.

Endlich haben in der neuesten Zeit **Forbes** und **Melloni** durch Versuche nachgewiesen, daſs auf gleiche Weise wie bei dem Lichte auch bei der Wärme eine **Polarisation** der Strahlen stattfindet, so wie man auch ihre **Doppelbrechung** und **Interferenz** aufgefunden haben will.

Forbes giebt überdieſs noch Versuche an, aus welchen er nach der **Fresnel**'schen Theorie die Länge der Wärmewellen berechnete und sie gröſser als die der Lichtwellen, nämlich ungefähr dreimal so lang als eine Welle des rothen Lichtes und ungefähr $4\frac{1}{2}$mal so lang als die des violetten Lichtes fand, woraus zugleich folgt, daſs die Schwingungen der Wärmewellen im umgekehrten Verhältnisse langsamer als die Lichtwellen sein müssen.

Betrachtet man die ganze Reihe von Thatsachen, die gegenwärtig die Wissenschaft von der strahlenden Wärme ausmachen, so ergiebt sich, daſs Verbreitung, Geschwindigkeit, Zurückstrahlung, Brechung und Polarisation der Wärmestrahlen mit dem gleichen Verhalten der Lichtstrahlen eine sehr groſse, zur Gleichheit übergehende Aehnlichkeit haben. Wenn nun sonach in dieser Beziehung die Gesetze, nach welchen diese zwei wichtigen Naturkräfte wirken, so wie die Modificationen, denen sie durch die

Einwirkung der wägbaren Materie unterliegen, als dieselben erscheinen, so ist dieſs jedoch nur so lange der Fall, als sich ihre Strahlen frei bewegen können, groſse Verschiedenheiten aber entstehen zwischen ihnen, sobald der strahlende Zustand auf der Oberfläche der Körper oder in deren innerer Masse unterbrochen wird.

Die Versuche, durch welche namentlich Melloni und Forbes die in den vorangehenden §§ erklärten Eigenschaften der strahlenden Wärme auffanden, gehören zu den feinsten und schwierigsten, erfordern manche kostbare Apparate, die nicht sehr häufig anzutreffen sein dürften, und sind ihrer Mehrzahl nach zu Collegien-Versuchen wenig geeignet, weshalb sie auch hier keine weitere Beschreibung fanden.

Diese wichtige und neue Lehre des Lichtes findet man ausführlicher abgehandelt in Eisenlohr's Lehrb. d. Phys., 2te u. 3te Aufl. und Baumgartner's Naturl. 6te u. 7te Aufl., und Alles, was über diesen Zustand der Wärme bis auf die neueste Zeit entdeckt und untersucht worden ist, in Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 418—653, und in Dove's Repertorium d. Phy. IV. 316—370 zusammengestellt, so wie die in der Zeit nach und nach gemachten Entdeckungen die Jahrgänge der Poggendorf'schen Annalen von 1835 — 1842 enthalten; aufserdem ist aber auch das Wichtigste hiervon aufgenommen worden in Marbach's phys. Lex. IV. 805—826.

B. Von der Fortleitung der Wärme im Innern der Körper.

§. 395.

Die Wärme, welche in das Innere eines Körpers eingedrungen ist, sucht sich so zu vertheilen, dafs alle Puncte dieselbe Temperatur erlangen. Die Geschwindigkeit, mit der diese Ausgleichung erfolgt, ist der Mafsstab für die innere Leitungsfähigkeit der Körpermaterie. Man unterscheidet hiernach die Körper in gute und schlechte Wärmeleiter; erstere nämlich sind solche, welche die Wärme schnell, letztere, welche sie nur langsam durch ihre Masse fortpflanzen. Uebrigens geht diese Verbreitung um so schneller vor sich, je gröfser der Unterschied der

Temperatur der sich berührenden Körpertheilchen ist.

Folgender einfache Versuch dient zur Letztern Bestätigung:

Versuch. Taucht man die Kugel eines Thermometers in heifses Wasser, so steigt anfangs das Quecksilber ziemlich schnell, dann aber um so langsamer, je mehr sich die Temperatur des Quecksilbers der des Wassers nähert.

Auch lehrt endlich noch die Erfahrung, dafs sich die Wärme durch alle Körper, keinen ausgenommen, verbreitet, und dafs es daher keine Materie giebt, durch welche man die Wärme abschliefsen könnte.

§. 396.

Nach zahlreich angestellten Versuchen hat sich ergeben, dafs die innere Fortpflanzung der Wärme über in allen Körpern, sowohl in den festen als auch in den tropfbar- und elastisch-flüssigen nach dem nämlichen Gesetze geschieht, dafs aber dafür gleiche Räume nach dem verschiedenen Leitungsvermögen der Körper sehr ungleiche Zeiten erfordern, und dafs im Allgemeinen die verschiedenen Körperstoffe die Wärme um so besser leiten, je dichter sie sind. Aufserdem aber wird diese Temperaturausgleichung bei den flüssigen und gasigen Körpern auch noch durch die leichte Beweglichkeit ihrer Theilchen auf besondere Weise modificirt.

In starren Körpern verbreitet sich die Wärme von einem Theilchen, welches unmittelbar von der Wärmequelle erwärmt wurde, in die zunächst daran grenzenden, von diesen in die folgenden u. s. w., bis sie im ganzen Körper in's Gleichgewicht gekommen ist. Unter diesen Körpern zeigen sich die Metalle als die beften Wärmeleiter, jedoch besitzen sie unter sich ein verschiedenes Leitungsvermögen. Mittelmäfsige Wärmeleiter werden die Metalle im oxydirten Zustande, z. B. die meisten Steine, Glas,

gebrannter Thon etc. Sehr schlechte Wärmeleiter sind die organischen Körper, und unter ihnen Kork, Stroh, Kohle, Asche; dann Baumwolle, Wolle, Seide, Haare, Federn.

Nach Rumford's Meinung ist die Ursache der schlechten Wärmeleitung dieser und ähnlicher poröser Körper die in ihren Zwischenräumen eingeschlossene ruhige Luft. Ueberhaupt wird die Wärme desto langsamer fortgeleitet, je öfterer sie in einen neuen Körper von verschiedener Dichtheit übergehen muſs.

Nach Desprez's neuerdings angestellten sorgfältigen Versuchen ergab sich ihm für nachstehende Körperstoffe folgende relative Leitungsfähigkeit:

Gold	10000	Zinn	3039
Silber	9730	Blei	1796
Kupfer	8980	Marmor	236
Platin	3810	Porzellan	122
Eisen	3743	Ziegel und Ofenmasse	114
Zink	3630		

Für Hölzer, die zu den schlechtesten Wärmeleitern gehören, giebt de la Rive folgende Ordnung der Leitungsfähigkeit an: Nuſsbaum, Eiche, Fichte, Pappel, Kork; auch will derselbe noch gefunden haben, daſs sie nach der Richtung der Fasern die Wärme besser leiten als nach ihrem Querschnitt.

Daſs Glas ein schlechterer Wärmeleiter als irgend ein Metall, z. B. Messing oder Eisen, ist, läſst sich ganz einfach auf folgende Art nachweisen.

Versuch. In Fig. 246 stellt *ab* einen Draht von Messing, Kupfer oder Eisen, *cd* ein eben so langes und starkes Glasstäbchen dar. Beide sind zwischen *a* und *b* mittels ausgeglühten Drahtes fest verbunden und haben an ihren Enden *b* und *d* zwei Wachskugeln. Werden die so vereinten Körper zwischen *a* und *c* über der Flamme einer Spirituslampe erhitzt, so schmilzt nach kurzer Zeit die Wachskugel *b* an dem Drahte herunter, während die am Glasstabe bei *d* unverändert bleibt.

§. 397.

Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist die Fortpflanzung der Wärme verschieden, je nachdem die Erwärmung von oben oder von unten stattfindet. Tritt die Erwärmung von oben ein, so geht in ihnen die Wärmeverbreitung so vor sich wie in festen Körpern, und da bewähren sich Flüssigkeiten

durchaus als schlechte Wärmeleiter; geschieht aber die Erwärmung von unten, so steigen die bereits erwärmten Theile, da sie specifisch leichter worden sind, nach hydrostatischen Gesetzen in die Höhe, und die kälteren nehmen dafür ihren Platz ein. Es entsteht auf diese Weise eine Strömung in der Flüssigkeit, wodurch die Fortpflanzung der Wärme durch die ganze Masse bedeutend beschleunigt wird. Von dem Allen tritt die umgekehrte Erscheinung ein, wenn man die Flüssigkeit von oben oder unten abkühlt.

Folgende Versuche können als Bestätigung des Angeführten dienen:

Erster Versuch. In einen zum Theil mit Wasser gefüllten dünnen Glaskolben schütte man etwas gröblich gepulverten Bernstein und erwärme das Wasser über einer Spirituslampe. Die hierauf entstehende Strömung des Wassers von unten nach oben wird dadurch sichtbar, dafs die Bernsteinstückchen in der Mitte der Flüssigkeit in die Höhe steigen, dann in der Nähe der Wände aber mit den kälteren Flüssigkeitstheilchen wieder zu Boden sinken.

Zweiter Versuch. In der Fig. 247 stellt *A* ein blechernes Gefäfs vor, in dessen Seitenwand nahe am Boden ein Thermometer *b*, und nahe an der oberen Oeffnung ein Thermometer *a* eingekittet ist. Das Gefäfs wird bis über das Thermometer *a* mit Wasser gefüllt. *c* ist ein auf der Oberfläche des Wassers schwimmendes dünnes Metallgefäfs. Wird in dieses Weingeist oder Schwefeläther gegossen und derselbe angezündet, oder auch so viel glühender Sand in dasselbe geschüttet, dafs das Gefäfs vom Wasser noch getragen wird, so zeigt trotz der beträchtlichen Wärme, die sich dadurch an der Oberfläche des Wassers entwickelt, der Thermometer *a* erst nach einiger Zeit und der Thermometer *b* gar keine Temperaturerhöhung.

Wird das Gefäfs auf ein Stück Eis gestellt, so zeigt der Thermometer *b* erst nach einiger Zeit, *a* aber noch nicht eine Temperatur-Erniedrigung an.

In beiden Fällen bewährt sich hiernach das Wasser als schlechter Wärmeleiter.

Erst wenn die Temperatur-Erniedrigung am Boden bis auf + 3° R. gekommen ist, steigt das nun leichter werdende Wasser (§. 382 Anmerk.) in die Höhe, während das oben befindliche wärmere seine Stelle einnimmt, und der obere Thermometer *a* kommt nun auch zum Sinken.

Wird dagegen das Gefäfs auf einen heifsen Ziegelstein oder auf ein heifses Stück Eisen gestellt, so erfolgt die Erwärmung

von unten, und man bemerkt sehr bald eine Temperaturerhöhung am unteren und oberen Thermometer. Das am Boden erwärmte und leichter gewordene Wasser steigt nämlich schnell in die Höhe und wirkt auf den oberen Thermometer ein.

Legt man aber auf die Oberfläche des Wassers ein Stück Eis, so wird jenes von oben abgekühlt, und das obere so wie das untere Thermometer zeigen nach Kurzem die erfolgte Temperaturerniedrigung an. Das an der Oberfläche erkältete und specifisch schwerer gewordene Wasser sinkt nämlich zu Boden und afficirt das untere Thermometer.

Dieses Verhalten bedingt zugleich die Temperaturverhältnisse des Meerwassers unter den verschiedenen Breitengraden in der Tiefe. In den heifsen und gemäfsigten Zonen mufs nämlich die Temperatur des Meerwassers von der Oberfläche nach der Tiefe abnehmen, wogegen in den kalten Zonen, wo die Wärme an der Oberfläche unter 0° ist, das Grundwasser keine geringere Temperatur als + 3° R. annehmen kann. Deshalb beginnt auch alle Eisbildung nur an der Oberfläche, wogegen sich alles Wasser in Eis umwandeln würde, sobald dieser Umwandlungsproceis auf dem Grunde seinen Anfang nähme.

Luftförmige Körper verhalten sich, da sie mit den tropfbaren Flüssigkeiten die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theilchen gemein haben, und auch die statischen Verhältnisse dieselben sind, in Bezug auf die Wärmeleitung den Flüssigkeiten ganz analog. Ruhige Luft bewährt sich nämlich ebenfalls als ein sehr schlechter Wärmeleiter, wogegen aber im beweglichen Zustande die Fortpflanzung der Wärme durch das Aufsteigen der erwärmten Theile noch schneller als bei tropfbaren Flüssigkeiten vor sich geht.

Hierauf beruhen auch die bereits in der Anmerkung zu §. 211 angeführten Erscheinungen und Bewegungen unserer Atmosphäre.

Aus der verschiedenen Leitungsfähigkeit der Körperstoffe lassen sich sehr viele Erscheinungen erklären, so wie auch in technischer, ökonomischer und anderer Beziehung unzählige Anwendungen von ihr zu machen sind. Ueberall nämlich, wo es darauf ankommt, die Wärme schnell zu verbreiten, mufs man sich guter Wärmeleiter

bedienen, der schlechten dagegen da, wo es die Absicht ist, die Wärme in einem Körper zurückzuhalten.

Aus dem Vorangehenden werden sich nun auch folgende Fragen leicht beantworten, so wie die technischen Anwendungen der verschiedenen Wärmeleiter erklären lassen.

Warum sich Bronce-Geschütze schneller erhitzen als eiserne. — Warum ein Stück Holz und ein Stück Metall, beide von gleicher Temperatur, aber kälter als unser Körper, ersteres bei der Berührung weniger kalt als letzteres erscheint, und warum das Gegentheil eintritt, wenn die beiden angeführten Körperstoffe eine höhere Temperatur als unser Körper haben. — In Metallgefäßen kommt Wasser schneller zum Sieden als in irdenen. — Zweck der hölzernen Handgriffe an Geschirren und Werkzeugen, die eine grofse Hitze annehmen. — Hölzerne Wände und Strohdächer halten im Winter wärmer und im Sommer kühler als massive Gebäude und Ziegeldächer. — Eisgruben. — Das Umfüttern der Leitungskanäle bei Luftheizungen mittels Asche oder Kohlenpulver. — Wolle, Federn, Pelzwerk schützen bekanntlich besser vor Kälte als selbst eine dicke und dichtere Hülle von Leinwand oder Leder. — Einer der schlechtesten Wärmeleiter ist auch noch der Schnee. Wichtigkeit dieser Eigenschaft. — Wasser und Quecksilber verhalten sich bei ihrer Berührung gegen unsern Körper ganz ähnlich, wie bereits oben vom Holz und Metall angeführt wurde. — Vortheile grofser Böden an Kochgeschirren; Zweck der Durchziehung von Kochgefäßen mit Metalldrähten. — Nutzen und Zweck der Doppelfenster.

IV. Von der Wärmecapacität, der specifischen und relativen Wärme der Körper.

§. 398.

Gleichartige Körper brauchen, um von einer gewissen Temperatur auf eine höhere gebracht zu werden, eine gleiche Menge Wärme.

Erster Versuch. Man kann sich hiervon sehr leicht überzeugen, wenn man zwei gleichartige Gefäße mit gleichen Wassermengen von derselben Temperatur neben einander auf einen geheizten Ofen setzt. Jedem Gefäße wird dann dieselbe Menge Wärme zugeführt. — Nach einiger Zeit findet man die Temperatur des Wassers in beiden Gefäßen um gleichviel Grade erhöht.

Nimmt man die Wärmemenge, welche erfordert wird, um z. B. 1 Pfund Wasser von 0° um 1° zu erwärmen, zur Einheit an, so ist die Wärme, welche man braucht, um ein Pfund Wasser von 0° um 20° zu erwärmen, gleich 20, und für 6 Pfund Wasser von 20° würde sie dann 120° betragen.

Zeigen daher gleichartige Körper von verschiedener Gröfse oder Masse eine gleiche Temperatur, so verhält sich in ihnen die Quantität der freien Wärme, wie die Masse der Körper, oder die Wärmestoffmenge ist der Masse proportional. Haben aber die gleichartigen Körper verschiedene Temperaturen und berühren oder vermengen sie sich, so vertheilt sich die Menge der freien Wärme in ihre ganze Masse gleichmäfsig.

Zweiter Versuch. 1 Pfd. Wasser von + 20° und 1 Pfd. Wasser von + 40° Wärme geben vermengt 2 Pfd. Wasser von $\frac{20+40}{2} = +30°$ Wärme.

Sind die Körpermassen ungleich, so ergiebt sich die gemeinschaftliche Temperatur nach ihrer Verbindung, wenn man die Summe der Producte aus den Massen in die Temperaturen durch die Summe der Massen dividirt, z. B. 2 Pfd. Wasser von + 35°, mit 3 Pfd. Wasser von + 10° gemengt, haben nach der Ausgleichung eine Temperatur von $\frac{2.35+3.10}{2+3.} = +20°$. — Berücksichtigung der durch die Gefäfse absorbirten Wärme.

Allgemein ausgedrückt, ist $x = \frac{MT+mt}{M+m}$, wo M und m die Massen, T und t die Temperaturen und x die Temperatur des Gemenges bedeutet.

§. 399.

Wenn die Temperatur zweier Körper von verschiedener materieller Beschaffenheit um gleiche Grade erhöht werden soll, so hat die Erfahrung gezeigt, dafs einige mehr, andere weniger Wärme dazu erfordern.

Versuch. Man stelle ein Gefäfs mit Wasser und ein anderes ihm gleiches mit demselben Gewicht Quecksilber neben einander auf einen geheizten Ofen. Hatten beide Flüssigkeiten eine gleiche Temperatur, so mufs unter den angeführten Umständen auch jedem Gefäfse eine gleiche Wärmemenge zugeführt werden.

Dessenungeachtet wird man nach einiger Zeit finden, dafs das Quecksilber eine höhere Temperatur als das Wasser angenommen hat.

Eben so hat sich ergeben, dafs bei Erniedrigung der Temperatur um gleich viel Grade verschiedenartige Körper auch eine verschiedene Wärmemenge abgeben.

Es folgt daraus, dafs, wenn zwei verschiedenartige Körper von gleicher Masse oder gleichem Gewichte einerlei Temperatur haben, diese dann in den meisten Fällen eine nicht gleich grofse Menge Wärme enthalten.

Man schreibt deshalb den Körperstoffen eine verschiedene Empfänglichkeit für die Aufnahme der freien Wärme in ihrem Innern oder zwischen ihren Moleculen zu, was ihre Wärmecapacität heifst, während man die Menge der Wärme, die sie bei gleicher Masse oder gleichem Gewicht erfordern, um eine Temperaturerhöhung von 1° zu erleiden, ihre specifische Wärme nennt. Dabei hat sich zugleich herausgestellt, dafs zwischen der Wärmecapacität und der Dichte der Körpermaterie eine gewisse Relation stattfindet, indem sich im Allgemeinen die Capacität um so geringer zeigt, je dichter der Stoff des Körpers ist.

Durch die Bestimmung der specifischen Wärme werden die Wärmecapacitäten der verschiedenartigen Körperstoffe vergleichbar; um dieſs aber mit allen Körpern auf eine übereinstimmende Weise vornehmen zu können, mufs man hierbei auf eine ähnliche Art wie bei der Bestimmung der specifischen Gewichte (§. 178) verfahren. Man nimmt nämlich die Wärmecapacität einer bestimmten Gewichtsmenge reinen Wassers als Einheit an und drückt dann die einer gleichen Masse jeder anderen Körpermaterie im Verhältnifs zu jener Einheit aus, so dafs die specifische Wärme aller Körper von gröfserer Wärmecapacität durch Zahlen, welche gröfser als 1, und die von geringerer Wärmecapacität durch Brüche dargestellt werden.

Man hat aber auch die specifische Wärme der Körper nicht blos bei gleichem Gewicht, sondern auch bei gleichem Volumen bestimmt und diese ihre relative Wärme genannt. Letztere verhält sich aber zur specifischen Wärme gerade wie die specifischen Gewichte der Körperstoffe und wird daher gefunden, wenn man die specifische Wärme mit dem specifischen Gewichte des Körperstoffs multiplicirt, und umgekehrt ergiebt sich die specifische Wärme, wenn man die relative durch das specifische Gewicht dividirt.

Durch Versuche, wie man sie im folgenden §. beschrieben findet, hat sich ergeben, dafs die Wärmemenge, welche z. B. die Temperatur von 1 Pfd. Wasser um 1° erhöht, die Temperatur von 1 Pfd. Quecksilber um 33° erhöhen würde. Nimmt man demnach diese Wärmemenge für das Wasser als Einheit an, so ergiebt sich daraus die specifische Wärme des Quecksilbers zu $\frac{1}{33}$, und da (nach Tab. XII des Anhanges) das specifische Gewicht des Quecksilbers ungefähr 13,6 beträgt, so folgt, dafs die relative Wärme eines gleichen Volumens dieses Stoffes $\frac{1}{33}$. 13,6 oder 0,4121 sein mufs.

Bedeutet daher s das specifische Gewicht, c die specifische Wärme oder Wärmecapacität, so drückt allgemein $r = sc$ die relative Wärme der Körperstoffe oder ihre Wärmemenge bei gleichem Volumen aus. — Tab. XVII enthält eine Zusammenstellung der specifischen und relativen Wärme einiger der wichtigsten starren und liquiden Körper. Vollständigere dergleichen Tabellen findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 824.

Was die gasigen Stoffe betrifft, so hat sich ergeben, dafs bei allen einfachen Gasen und ihren Gemengen die specifische Wärme derselben sich umgekehrt wie ihre specifischen Gewichte oder ihre Dichtheiten verhält, dafs folglich gleiche Gewichtsmengen solcher Gase in demselben Verhältnisse mehr Wärme enthalten, als ihr specifisches Gewicht kleiner ist. Da sich nun aber die Gewichte gleicher Gasvolumen indirect wie ihre specifischen Gewichte verhalten, so folgt auch hieraus, dafs gleiche Volumen solcher Gase gleiche relative Wärme oder eine gleiche Wärmemenge haben, und zwar dieselbe wie die atmosphärische Luft enthalten müssen. Chemisch zusammengesetzte Gase haben

aber eine von einfachen Gasen oder ihren Gemengen abweichende relative Wärme, und zwar ist sie bei diesen gröfser als die der atmosphärischen Luft und hat bei jedem solchen Gase einen anderen Werth, so dafs die in ihnen enthaltene Wärmemenge mehr beträgt als in einem eben so grofsen Volumen atmosphärischer Luft.

Der specifischen Wärme der Gase oder ihren gleichen Gewichten legt man in der Regel die Capacität der atmosphärischen Luft als Einheit zum Grunde, oder man drückt sie auch im Verhältnifs zur specifischen Wärme des Wassers als Einheit aus, wodurch dann ihre Capacitäten mit denen der starren und flüssigen Körper vergleichbar werden. Letztere Werthe ergeben sich, wenn man die vorerwähnten mit der Verhältnifszahl der specifischen Wärme der atmosphärischen Luft gegen die des Wassers, welche 0,2669 beträgt, multiplicirt.

In Tab. XVII findet man für mehre Gase sowohl die Wärmecapacität bei gleichen Gewichtsmengen als auch bei gleichen Volumen angegeben.

§. 400.

Zur Ermittelung der specifischen Wärme der verschiedenen Körpermaterien hat man sich bisher folgender Methoden bedient:

1.) Die Mischungs-Methode. Hierbei erwärmt man nämlich den zu untersuchenden Körper bis zu einer gewissen Temperatur und senkt ihn dann in eine am befsten gleiche Gewichtsmenge Wasser oder eine andere Flüssigkeit. Die verschiedenen Temperaturen der so gemengten oder sich berührenden Körper gleichen sich nach einiger Zeit aus, oder die freie Wärme setzt sich in beiden Körpermaterien in's Gleichgewicht. Aus der Temperaturerniedrigung der wärmeren und der Temperaturerhöhung der kälte-

ren Materie bestimmt sich nachher ihre gegenseitige Wärmecapacität.

Erster Versuch. Werden 1 Pfd. Quecksilber von 0° und 1 Pfd. Wasser von + 34° gemengt, so nehmen beide eine gemeinschaftliche Temperatur von + 33° an. — Die Temperatur des Quecksilbers ist hiernach um 33° gestiegen, während sich die der eben so grofsen Wassermasse um 1° vermindert.

Hat das Quecksilber die Temperatur von + 34°, das Wasser dagegen die von 0°, so ist nach der Ausgleichung der Temperaturen die gemeinschaftliche Wärme + 1°. — Die Temperatur des Wassers ist also in diesem Falle nur um 1° gestiegen, während das Quecksilber 33° Wärme verliert.

Aus beiden Versuchen ergiebt sich, dafs die Wärmecapacität des Wassers 33mal gröfser ist als die des Quecksilbers, und erstere = 1 gesetzt ergiebt die specifische Wärme des Quecksilbers zu $\frac{1}{33} = 0{,}033\ldots$

Zweiter Versuch. Schüttet man in 1 Pfd. Wasser von 0° Wärme 1 Pfd. Eisenfeile von + 36° Wärme, so zeigt das Gemenge nach Ausgleichung der Temperaturen eine gemeinschaftliche Wärme von + 4° — Dieselbe Quantität Wärme also, deren Verlust die Temperatur des Eisens um 32° erniedrigt, vermag in einer eben so grofsen Wassermasse nur eine Erhöhung von 4° hervorzubringen, woraus folgt, dafs 8mal mehr Wärme erforderlich ist, die Temperatur des Wassers um 1° zu vermehren oder zu vermindern, als die Temperatur einer eben so schweren Eisenmasse um 1° zu verändern. Hieraus ergiebt sich mithin, dafs die specifische Wärme des Eisens $\frac{1}{8}$ oder 0,125 ist.

Es drücke allgemein M das Gewicht der Wassermasse, t dessen Temperatur, C die Wärmecapacität, und eben so m die Masse des zu untersuchenden wärmeren Körpers, T seine Temperatur, c die zu suchende Wärmecapacität desselben und endlich T^1 die erhaltene Temperatur des Gemenges aus.

Dann beträgt die vom Wasser aufgenommene Wärmemenge $MC\,(T^1 - t)$, denn offenbar ist die erforderliche Wärmemenge, wodurch die Temperatur eines Körpers um eine gewisse Anzahl Grade erhöht wird, seiner Masse und Capacität proportional. Auf gleiche Weise läfst sich der Wärmeverlust des der Prüfung unterworfenen wärmeren Körpers durch $mc\,(T - T^1)$ ausdrücken. Da nun beide Werthe einander gleich sein müssen, so ergiebt sich $MC\,(T^1 - t) = mc\,(T - T^1)$, woraus folgt, dafs $\frac{c}{C} = \frac{M}{m}\frac{(T^1 - t)}{(T - T^1)}$ sein mufs, und da die Wärmecapacität des Wassers $C = 1$ gesetzt wird, so ist die specifische Wärme des geprüften Körpers $c = \frac{M\,(T^1 - t)}{m\,(T - T^1)}$.

Diese von de Luc, Crawford und andern Physikern angewendete Methode der Mischung ist nicht ganz von Unsicherheit frei, weil während das Versuchs theils durch Strahlung, theils durch Leitung an das Gefäfs und die umgebende Luft ein Theil Wärme verloren geht. (S. Marbach's phys. Lex. IV. 832.)

2,) Die Schmelz-Methode. Bei dieser bestimmt man die Wärmecapacität der verschiedenen Körpermaterien aus der Menge des durch die Einwirkung des zu prüfenden Körpers geschmolzenen Eises. Die Versuche dabei stellt man am befsten mit dem sogenannten Eisapparat oder Calorimeter an, in welchem der zu untersuchende Körper von allen Seiten mit gestofsenem Eise umgeben wird.

Dieser Calorimeter Fig. 263 Tab. X besteht aus einem Behältnifs von Blech *C*, welches ein anderes kleineres *B* in sich schliefst, und in dem Raume dieses letzteren befindet sich ein aus Draht geflochtener Behälter *A*, welcher den zu untersuchenden Körper aufnimmt. Der Raum zwischen dem ersten und zweiten Gefäfse und eben so der zwischen dem zweiten und dritten werden mit zerstofsenem Eise gefüllt. Das Eis des äufseren Raumes dient dazu, die Wärme der Umgebung von dem innern Raume abzuhalten; die Wärme des in dem Drahtbehälter befindlichen Körpers wirkt blos auf das Eis des innern Raumes, indem so lange Eis geschmolzen wird, bis der Körper selbst die Temperatur 0° erreicht hat. Das dadurch gebildete Wasser kann durch einen Hahn *h* abgelassen und nach Beendigung des Versuches gewogen werden. Um die specifische Wärme tropfbarer Körper zu ermitteln, mufs man sie in Gefäfse füllen, deren specifische Wärme bekannt ist. Das weitere Verfahren ergiebt sich von selbst. — Diesem Apparate liegt der Erfahrungssatz zum Grunde, dafs schmelzendes Eis die unveränderliche Temperatur von 0° behält, und dafs alle ihm zugeführte Wärme nur seine Schmelzung bewirkt.

Da sich aus Versuchen, wie sie im folgenden Abschnitte (§. 407 Versuch 2) beschrieben werden, ergeben hat, dafs die Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 Pfd. Eis zu schmelzen, 75° C. oder 60° R. beträgt, so mufs die im Calorimeter geschmolzene Eismasse von *M* Pfd., welche dem Gewichte des abgelassenen Wassers gleich ist, dem der Prüfung unterworfenen Körper 75° *M* Wärme entzogen haben. Nennen wir die Masse dieses Körpers *m* Pfd., seine Temperatur, die er besafs, als er in den Calorimeter gebracht wurde, *t*°, und seine Wärmecapacität *c*, so betrug die Wärmemenge, die er enthielt, *mtc*;

daher muſs $mtc = 75\,M$ sein, woraus sich die zu suchende Wärmecapacität

$$c = \frac{75\,M}{mt} \text{ ergiebt.}$$

Z. B. 2 Pfd. Eisen von 50° C. schmilzt durch Abkühlung bis auf 0°, 5½ Loth oder ¼ Pfd. Eis, daher:

$$c = \frac{75 \,.\, \frac{1}{4}}{2 \,.\, 50} = \frac{1}{8}.$$

Diese von Lavoisier und la Place herrührende Methode läſst sich für feste und flüssige Körper anwenden, ergiebt genauere Resultate als die vorige, erfordert aber immer noch besondere Vorsichtsmaſsregeln bei Anstellung der Versuche.

(S. Gehler's phys. Wrtb. II. 9, so wie Marbach's phys. Lex. IV. 830.)

3.) Die Abkühlungs-Methode. Das Verfahren hierbei beruht auf der Erfahrung, daſs ein Körper desto langsamer erkaltet, je gröſser seine Wärmecapacität ist; denn er muſs dann desto mehr Wärme abgeben, wozu folglich auch mehr Zeit erforderlich ist. Hierbei wird es aber nothwendig, daſs die zu prüfenden Körperstoffe sich in einer Hülle befinden, die dasselbe constante Strahlungsvermögen behält.

Zu diesem Behufe füllt man mit den zu prüfenden Materien im flüssigen oder pulverigen Zustande ein metallenes Gefäſs mit glänzender Oberfläche (einen sehr dünnen silbernen Cylinder) an, und beobachtet die Zeit, welche verstreicht, ehe die zu untersuchenden Substanzen von einer bestimmten Temperatur bis zu einer ebenfalls bestimmten tieferen herabsinken. Wenn dann ein Körperstoff sich doppelt so schnell abkühlt als ein anderer, so wird die relative Wärme des ersteren nur halb so groſs als die des letzteren sein, woraus sich dann leicht nach vorigem §. die specifische Wärme bestimmen läſst.

Diese Methode der Abkühlung ist von Mayer zuerst angewendet, später von Leslie verbessert und in der neueren Zeit durch Dulong und Petit zu einer vollkommenen Schärfe gebracht worden. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 778 und Marbach's phys. Lex. IV. 831.)

Die specifische Wärme der Gase läſst sich durch keines der bis jetzt beschriebenen Verfahren bestimmen. Delaroche und Bérard bedienten sich dazu des sogenannten Waqser-Calorimeters Rumford's, eines mit kaltem

Wasser gefüllten Gefäfses, durch welches eine Röhre in spiralförmigen Windungen geführt ist. Das zu prüfende gut getrocknete Gas wird, nachdem es in einem von kochendem Wasser umgebenen Gefäfse auf + 100° C. gebracht ist, langsam und gleichmäfsig durch das Spiralrohr des Wasser-Clorimeters geleitet, aus dessen oben offenem Ende es entweicht. Auf diesem Wege giebt dasselbe einen Theil seiner Wärme an das kältere Wasser ab, dessen Temperatur allmälig steigt und nach einiger Zeit stationär wird. Diesen zwischen dem Wasser und dem Gase eingetretenen Gleichgewichtszustand mifst man nun mittels eines Thermometers und findet daraus die Temperaturerhöhung des Wassers und die Temperaturerniedrigung des Gases. Stellt man auf ganz gleiche Weise den Versuch mit einem anderen Gase an, und ergiebt das Resultat eine höhere Temperatur des Wassers, so mufs ihm jenes mehr, im entgegengesetzten Falle aber weniger Wärme zugeführt haben, und die Wärmecapacitäten beider Gase verhalten sich dann wie die Temperaturerhöhungen des von ihnen durchströmten Wassers. Wird hierbei die Wärmecapacität der atmosphärischen Luft als Einheit gesetzt, so läfst sich danach die specifische Wärme anderer Gase durch die verhältnifsmäfsigen Zahlen auf die bekannte Weise ausdrücken.

Um z. B. 1 Pfd. Wasser von 0° bis zu + 100° C. zu erwärmen, braucht man so viel Wärme, als erforderlich ist, um 4 Pfd. atmosphärischer Luft von 0° auf + 100° zu bringen. Die specifische Wärme der atmosphärischen Luft beträgt hiernach also nur $\frac{1}{4}$ oder genauer 0,2669 von der des Wassers.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. 13, X. 685, und Marbach's phys. Lex. IV. 832.)

§. 401.

Die Wärmecapacität der festen und tropfbaren Körper ist aber nicht constant, sondern veränderlich, und zwar hat sich gezeigt, dafs diefs bei jeder Aenderung der

Dichtheit der Stoffe eintritt. Die Capacität wächst nämlich, wenn die Dichte abnimmt, und vermindert sich, wenn letztere zunimmt, es mag dieſs durch Temperaturveränderungen oder mechanische Mittel bewirkt werden, jedoch nur um einen geringeren Theil ihres anfänglichen Werthes, d. h. ein Körper erfordert z. B. mehr Wärme, um seine Temperatur von + 100° auf + 101° als von 0° auf + 1° zu erhöhen. Dieses Wachsthum der Wärmecapacität läſst sich erklären, wenn man annimmt, daſs von der dem Körper zugeführten Wärme nur ein Theil derselben seine Temperaturerhöhung, der übrige aber die Volumensänderung bewirkt.

So fanden Dulong und Petit aus mehrmals wiederholten Versuchen im Mittel

	v. 0° bis + 100° C.	bis + 300° C.
die Capacität des Quecksilbers . . .	0,0330	0,0350
— — — Platins	0,0335	0,0355
— — — Antimons	0,0507	0,0549
— — — Silbers	0,0557	0,0611
— — — Zinks	0,0927	0,1015
— — — Kupfers.	0,0949	0,1013
— — — Eisens	0,1098	0,1218
— — — Glases	0,1770	0,1900

Eben so ist auch die Wärmecapacität der Kohle um so geringer, je dichter sie ist, Regnault fand nämlich

die Capacität der Holzkohle	0,2415
— — des Coaks von Cannelkohle	0,2030
— — des Graphits aus Gasretorten	0,2036
— — des Diamants	0,1468

(Poggendorf's Annalen LIII. 264.)

Die Wärmecapacität der Gase verändert sich auf analoge Weise wie die der starren und liquiden Körper, sie steigt nämlich mit ihrer Verdünnung und nimmt ab mit ihrer Verdichtung, also wenn sich der Druck vermehrt, unter dem sie stehen, oder wenn sie zusammengedrückt werden, jedoch beides in einem geringeren Verhältniſs, als wie die Verdünnung oder Verdichtung stattfindet. Für atmosphärische Luft z. B. vergröſsert sich ihre Wärmecapacität bei dem auf

ränderlichkeit der Wärmecapacität der Gase.

ſte reducirten Drucke nur um ein Zehntel und wird e durch die 18fache Verdünnung verdoppelt, in Maſse aber vermindert, wenn eine Verdichtung n diesen Verhältnissen eintritt. Um daher die Temperatur eines Gasquantums, welches sich bei gleich bleibendem Drucke frei ausdehnen kann, um 1° zu erhöhen, ist eine gröſsere Wärmemenge erforderlich, als wenn sich dieselbe Gasmenge nicht ausdehnen kann oder dasselbe Volumen beibehalten muſs, d. h. mit anderen Worten: **die specifische Wärme der Gase bei unverändertem Drucke ist stets gröſser als die bei gleich bleibendem Volumen.** — Dulong fand aus Versuchen, die sich auf erschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Gasen von verschiedener Dichtheit gründen, (s. Baumgärtner's Naturl. 7te Aufl. S. 668, und Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 727) für die einfachen Gase und ihre Gemenge das Verhältniſs der specifischen Wärme bei verändertem Drucke zu der bei gleich bleibendem Volumen wie 1,421 zu 1.

Nimmt man daher die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur einer bestimmten Quantität Gas um 1° zu erhöhen, wenn dasselbe sein Volumen beibehalten muſs, als Einheit an, so beträgt die Wärmemenge, welche eine gleiche Temperaturerhöhung erzeugt, wenn sich das Gas unter seinem ursprünglichen Drucke frei ausdehnen kann, 1,421. Man kann daher annehmen, daſs sich die im letzteren Falle erforderliche Wärmemenge in zwei Theile theilt, wovon der eine die Temperatur um 1° erhöht, während der andere, 0,421°, die jener Temperatur entsprechende Ausdehnung bewirkt. Es muſs folglich auch der letztere Antheil der Wärme wieder frei werden, sobald man das Gas um so viel zusammendrückt, als es sich ausgedehnt hatte. Kennt man mithin den Ausdehnungs-

Coefficienten eines Gases, so läfst sich aus ihm die Menge der Wärme berechnen, welche durch dessen Zusammenpressung in einen kleineren Raum frei werden mufs. Da nun (nach §. 382) der Ausdehnungs-Coefficient unserer atmosphärischen Luft für 1° C. 0,00366 oder $\frac{11}{3000}$ beträgt, so wird sich mithin ihre Temperatur, sobald man sie um 0,00366 ihres Volumens zusammendrückt, um 0,421° C., wenn man sie um 0,1 desselben comprimirt, um $\frac{0,1}{0,00366} \cdot 0,421$ oder 11,5° C. und, wenn man sie um 0,5 comprimirt oder bis zur Hälfte ihres Volumens verdichtet, um $5 . 11,5 = 57,5°$ C. erhöhen.

§. 402.

Bei den Untersuchungen, welche Dulong und Petit zur Bestimmung der specifischen Wärme der Körper vornahmen, entdeckten sie zugleich, dafs dieselbe auch in einer einfachen Relation zu ihren Atomgewichten (§ 68) zu stehen scheint. Bei den einfachen Körpern verhält sie sich, nur wenige ausgenommen, umgekehrt wie ihre Atomgewichte, so dafs durch Multiplication beider Gröfsen eine ziemlich constante Zahl erhalten wird, welche nach Regnault's neuesten Untersuchungen zwischen 38 und 42 liegt, wonach das Dulong-Petit'sche Gesetz, dafs die Atome aller einfachen Körper gleiche Wärmecapacität besitzen, der Wahrheit wenigstens sehr nahe kommt. Nach den von Naumann und kürzlich auch von Regnault mit zusammengesetzten Körpern angestellten Untersuchungen läfst sich ebenfalls der Schlufs ziehen, dafs die specifische Wärme aller zusammengesetzten Körper, welche aus einer gleichen Anzahl von einfachen Atomen bestehen und diese auf einerlei Weise unter sich verbunden enthalten, im umgekehrten Verhältnifs zu dem specifischen Gewichte dersel-

ben steht, oder dafs die Producte aus letztern i
specifische Wärme für alle solche Körper gleich sin
mithin jeder Classe solcher Verbindungen wie b
Elementen ein constanter Durchschnittswerth für di
ducte der Atomgewichte in ihre specifische Wärm
kommt. Jenes Product ist dann offenbar der An
für die Wärmemenge, welche erfordert wird, um
Atome bei der ihm eigenthümlichen Zusammensetzun
Temperaturerhöhung von 1^0 zu ertheilen, woraus
folgt, dafs sowohl die Atome der Element
sich als auch die der atomistisch und chem
ähnlich zusammengesetzten Körper bei
chen Temperaturen gleich viel Wärme enthal

Während sich, wie schon oben bemerkt, nach Regn
Untersuchungen als Mittelwerth der Constanten für di
mente die Zahl 40 ergiebt, fand dieser Physiker die Consta

Oxyde:	Sulphuride:
RO oder $\dot{R} = 70$	RS oder $\dot{R} = 74$
R^2O^3 - $\dddot{R} = 170$	R^2S^3 - $\dddot{R} = 191$
RO^2 - $\ddot{R} = 86$	RS^2 - $\ddot{R} = 129$

Chloride:	salpetersaure Sal
R^2Cl^2 oder $R\ddot{C}l = 159$	$N^2O^5 + RO$ oder $\dot{R}\dddot{N} =$
RCl^2 - $R\ddot{C}l = 117$	schwefelsaure Sal
RCl^4 - $R\ddot{C}l^2 = 230$	$SO^3 + RO$ oder $\dot{R}\dddot{S} =$

kohlensaure Salze:

$CO^2 + RO$ oder $\dot{R}\ddot{C} = 134$.

In diesen chemischen Formeln drückt R die Atomza
Base aus, die anderen Buchstaben aber sind die bekannt
die Elemente angenommenen Zeichen.

(S. Erdmann, Marchand, Journ. f. prakt. Chem. XXV
— Poggendorf's Annal. LI. 44, 213. — Dove's Repe
Phys. IV. 263. — Berzelius, Jahresbericht XXI. unorga
Chem. S. 1 und XXII. unorgan. Chem. S. 8.)

Annäherungsweise läfst sich daher auch die speci
Wärme der Körperstoffe aus ihren Atomgewichten berec

wenn man mit diesen in die constante Mittelzahl der vorer bezeichneten Producte dividirt.

So findet man daher z. B. für nachstehende einfache Stoffe, deren mittle Constante = 40, die specifische Wärme des Eisens, dessen Atomgewicht (s. Tab. VII.) 339 ist, 40 : 339 = 0,118, des Bleies, dessen Atomgewicht 1294 beträgt, 40 : 1294 = 0,0309, und des Schwefels, dessen Atomgewicht 201 ist, 40 : 201 = 0,199. (Man vergl. mit diesem §. die Angaben der XVII. Tab. in ihren beiden letzten Spalten.)

§. 403.

Schon §. 401 wurde angeführt, dafs sich die Wärmecapacität der Körper nicht gleich bleibe, und nach anderweiten Erfahrungen hat sich ergeben, dafs sehr verschiedene Ursachen dieselbe ändern können. Sobald aber in einem Körper eine Aenderung der Wärmecapacität eintritt, mufs nothwendig auch der Gleichgewichtszustand der freien Wärme in ihm gestört werden. Nimmt die Wärmecapacität in einem Körper ab, so mufs Wärme frei werden, nimmt sie aber zu, so wird freie Wärme gebunden, und es mufs nothwendig eine Temperaturerniedrigung eintreten.

Die vorzüglichsten Ursachen, die eine Aenderung der Wärmecapacität herbeiführen können, sind folgende:

1) Die Aenderung des Volumens, welche daher auch bei der Zu- oder Abnahme der Temperatur eines Körpers eintritt (§. 368). Es nimmt nämlich die Capacität eines Körpers ab bei Verminderung seines Volumens, mithin durch Zusammendrückung; dagegen nimmt sie zu durch Raumeserweiterung, folglich bei der Ausdehnung der Körper.

Beides tritt am bedeutendsten bei den Gasen ein, da diese der schnellsten und stärksten Zusammendrückung und Ausdehnung fähig sind. Folgende Versuche liefern hierzu die Beweise.

Erster Versuch. Die Entzündung von Zunderschwamm mittels des sogenannten pneumatischen Feuerzeuges oder Tachopyrions. — Es besteht dasselbe im Allgemeinen aus einem, an dem einen Ende geschlossenen, am anderen

achen der Veränderung der Wärmecapacität.

offe ohlen Cylinder von Messing oder Glas, dessen Länge etwa s bis 10 Zoll und dessen Weite 3 bis 4 Lin. beträgt. In ich an einem, mit einem Knopfe versehenen eisernen genau anschliefsender Kolben herauf- und herunterbewe jedoch so, dafs bei dem Hinunterstofsen desselben e re Fläche noch in einiger Entfernung vom Boden des bleibt. Auf der unteren Kolbenfläche ist ein kleines ngebracht, an welches man bei'm Gebrauch des Ins ein Stückchen Feuerschwamm befestigt. Der Kolben wird so schnell als möglich herabgestofsen und eben so schnell wieder herausgezogen, damit der glimmende Schwamm nicht wieder verlösche, weil er d ringen Gehalt von Sauerstoff- wenigen Augenblicken verr ein, sobald die Luft bis auf ein Drittel ihres ursprünglichen Volumens zusammengepreſst wird, und da zur Entzündung von Feuerschwamm 288° C. Wärme nöthig sind, so folgt, dafs diese also bei jener Verdichtung frei werden müssen.

(S. Marbach's phys. Lex. II. 432 und Gehler's phys. Lex. n. A. IV. 232.)

Zweiter Versuch. Ei pfindliches unter dem Recipienten einer Luftpumpe chtes Luftthermometer sinkt bei'm Verdünnen und ste r bei'm Zulassen der Luft.

Stark comprimirte Gase erzeugen bei ihrem Ausströmen aus einer engen Oeffnung, mithin bei ihrer Ausdehnung, eine beträchtliche Abkühlung.

Dritter Versuch. Nimmt man ein cylindrisches Gefäls aus fast 1 Lin. dickem Eisenblech, hart gelöthet und mit zwei nahe halbkugelförmigen Enden, versieht es mit einem Hahne und preſst mittels einer Compressionspumpe (§. 192) Luft bis zur dreifachen atmosphärischen Dichtheit oder darüber hinein, so erzeugt die Ausströmung derselben nach Oeffnung des Hahnes nicht blos merkliche Kälte, sondern vermag auch, wenn der Luftbehälter hinlänglich grofs ist, wenn er nämlich etwa 6 Zoll Durchmesser und 18 Zoll Höhe hat, Wasser zum Gefrieren zu bringen. Für diesen Zweck darf aber die Oeffnung im Hahne nicht zu klein, nicht unter 0,5 Lin. im Durchmesser sein; dann aber tritt die Eisbildung unfehlbar ein, sobald man einen Spahn, an dessen Ende sich etwas mit Wasser getränkte Baumwolle befindet, vor die Oeffnung hält. (Gehler's phys. Wrtb. X. 233.)

Weniger comprimirte Luft läfst ihre eintretende Abkühlung dadurch erkennen, wenn man sie gegen die Kugel eines Luftthermometers ausströmen läfst.

Hieraus erklärt sich auch, warum ein leiser Hauch

dem Munde warm ist, ein durch heftiges Pressen der Backen hervorgebrachtes Blasen aber abkühlt.

Da tropfbare Flüssigkeiten nur einer geringen Zusammendrückung fähig sind, so ist bei ihnen auch die Beobachtung der Compressionswärme sehr schwer und nach den darüber angestellten Versuchen ganz unbedeutend gefunden worden.

Bei festen Körpern ist es allgemein bekannt, dafs sie bei plötzlichen und anhaltenden Verdichtungen, wie z. B. die Metalle durch Hämmern und Strecken, eine bedeutende Erhitzung erleiden, welche, wenigstens gröfstentheils, als eine Folge der verminderten Capacität angesehen werden kann.

2.) Die Aenderung der Aggregatform. Körperstoffe nämlich, welche fähig sind, eine verschiedene Aggregatform anzunehmen, zeigen dann auch bei diesen veränderten Zuständen eine verschiedene Wärmecapacität. Die zwischen den Moleculen des Körperstoffs thätigen Molecularkräfte treten dadurch in ein anderes Verhältnifs ihrer Intensität zu einander (§. 18), und auf diese Weise wird wahrscheinlich auch die Empfänglichkeit jener für die Wärmeaufnahme verändert.

So hat man z. B. die Wärmecapacität im Eise = 0,9, im Wasser = 1 und im Wasserdampfe = 0,8 gefunden. — Hierbei ist übrigens die specifische Wärme nicht mit der Wärme zu verwechseln, welche die Umänderung der Aggregatform selbst bewirkt, worüber der folgende Abschnitt das Weitere enthält.

3.) Die Aenderung der chemischen Beschaffenheit des Körperstoffs. Bei der chemischen Verbindung zweier Stoffe ändert sich häufig ihre Aggregatform, und selbst dann, wenn dieſs nicht stattfindet, oder wenn sich z. B. zwei Flüssigkeiten nur vermengen, ändert sich doch ihre eigenthümliche Natur, zufolge welcher in den meisten Fällen eine Erwärmung, bisweilen aber auch eine Abkühlung eintritt.

Vierter Versuch. Gieſst man Schwefelsäure in Wasser, so zeigt das Gemisch eine auffallende Temperaturerhöhung. — Die Wärmecapacität desselben mufs sich daher bedeutend vermindern.

Eine ähnliche Erscheinung tritt ein, wenn Wasser auf gebrannten Kalk gegossen wird (Kalklöschen).

Wärme; der starre am wenigsten, mehr der tropfbar-flüssige, und die meiste der luftförmige. In diesem Zustande des Gebundenseins hat aber die Wärme ihre Wirkung nach aufsen verloren und kann nun weder das Gefühl noch das Thermometer afficiren.

Unter freier Wärme hätte man sich dagegen diejenige Menge derselben vorzustellen, welche mit der Körpermaterie nicht chemisch, sondern nur mechanisch, vielleicht durch Adhäsion mit den Moleculen, verbunden wäre, und daher auch nicht blos auf der Oberfläche, sondern auch in seinem Innern vorhanden sein mufs. Diese freie Wärme ist ferner nicht so, wie die latente, an gewisse Mengeverhältnisse gebunden, sondern kann sich in und um jeden Körper stetig bis zu derjenigen Menge anhäufen oder vermindern, bei welcher ein Wechsel des Aggregatzustandes eintritt.

Jene freie Wärme ist es endlich auch allein, welche die schon erklärten Volumensänderungen der Körper erzeugt, die auf das Gefühl und Thermometer einwirkt, in Folge der geringen Kraft aber, mit der sie an den Körpertheilchen haftet, mit Leichtigkeit von einem Körper zum anderen und zwar strahlend übergeht. Der Austausch der Wärme hört jedoch bei ungleichartigen Körpern von ungleicher Temperatur alsdann noch nicht auf, wenn sie gleich viel freie Wärme aufgenommen haben, sondern wenn jeder davon so viel enthält, als der Kraft entsprechend ist, mit welcher sie von den Körpertheilchen angezogen wird. Hierin würde auch der Grund von der verschiedenen Wärmecapacität der Körper zu suchen sein, die blos auf die freie Wärme zu beziehen ist.

§. 406.

Der Uebergang der starren Körper in den tropfbarflüssigen Zustand nennt man das Schmelzen. Der Grad

der Temperatur, bei dem dieses erfolgt, ist sehr verschieden und heifst der Schmelzpunct. Von besonderer technischer Wichtigkeit war es, ihn von den Metallen genau kennen zu lernen, welche hiernach in strengflüssige und leichtflüssige eingetheilt werden, indem man zu ersteren alle die zählt, welche vor ihrem Schmelzen erst glühend werden (1). Einige Metalle und andere starre Körper widerstanden bis jetzt dem stärksten Schmelzfeuer; sie heifsen unschmelzbar (2). Metall-Legirungen (§. 71) schmelzen meist bei einer Temperatur, die niedriger ist als der Schmelzpunct ihrer einzelnen Bestandtheile, aufserdem werden auch Metalle durch den Zusatz von anderen Körpern, den sogenannten Zuschlag oder Flufs, leichter flüssig, als sie es im reinen Zustande sind (3). Manche Körper werden, ehe sie sich völlig in die flüssige Form umwandeln, erst weich und lassen sich in diesem Zustande innig mit einander verbinden. Metalle, welche diese Eigenschaften besitzen, nennt man schweifsbare. Bei solchen Körpern ist der Schmelzpunct meist schwierig zu bestimmen, wogegen dieſs bei denen, welche ihren starren Zustand plötzlich mit dem flüssigen vertauschen, nicht der Fall ist (4). Einige Körper zeigen auch die Eigenthümlichkeit, dafs sie bei einer gewissen Temperatur sogleich in Gasform übergehen und den Flüssigkeitszustand gewissermafsen überspringen; man nennt sie gewöhnlich flüchtige Körper (5). Endlich giebt es auch noch Körper, meist aus der Pflanzenreiche abstammend, die, wenn man sie zu einer gewissen Temperatur an der Atmosphäre erhitzt, ebenfalls ohne flüssig zu werden, sich unter Wärme- und Lichtentwickelung mit dem Sauerstoff derselben verbinden und dabei Gasform annehmen; es gehören diese zu den sogenannten verbrennlichen Körpern (§. 82).

1.) Die Schmelzpuncte der strengflüssigen Körper haben wegen der Unzuverlässigkeit der bis jetzt in Anwendung ge-

brachten pyrometrischen Mittel (37) noch nicht mit absoluter Genauigkeit bestimmt werden können. Folgendes zeigt die Schmelzpuncte einiger der vorzüglichsten strengflüssigen Metalle.

Platin schmilzt bei	1700° C.	= 1360°?R.	}	Clarke.
Schmiedeeisen	1660 -	= 1280 -	}	Vauquelin.
Stahl	1400 -	= 1120 -	}	Pouillet.
	1300 -	= 1040 -		
Gold	1200 -	= 960 -		
Gufseisen, graues,	1200 -	= 960 -		
	1100 -	= 880 -		
- weifses,	1100 -	= 880 -		
	1050 -	= 840 -		
Kupfer	1050 -	= 840 -		
Messing	1015 -	= 812 -		Daniell.
Silber	1000 -	= 800 -		Pouillet.

Zu den leichtflüssigen Metallen gehören vorzüglich folgende:

Zink schmilzt bei	371° C.	= 297° R.	Murray.
	374 -	= 299 -	Guyton-Morveau.
Blei	310 -	= 248 -	Irvine.
	312 -	= 249,6 -	Guyton-Morveau.
Wismuth .	265 -	= 212 -	Ermann.
	247 -	= 198 -	Irvine.
	249 -	= 199 -	Crichton.
Zinn	267 -	= 213,6 -	Guyton-Morveau.
	228 -	= 182 -	Crichton.
	223 -	= 178 -	Erman.
Natrum . .	90 -	= 72 -	} Gay-Lussac u. Thénard.
Kalium . .	58 -	= 46 -	

Von den Metalloiden möchten noch folgende angeführt werden:

Schwefel schmilzt bei	108° C.	= 86° R.	Dumas.
Phosphor	37,8 -	= 28 -	Murray.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. 992.)

2.) Zu den unschmelzbaren Körpern rechnet man die reinen Erden, als Kalk-, Talk-, Thon-, Baryt-, Strontian-Erde etc.; auch gehören hierher nach der oben gegebenen Erklärung noch das Platin, das Eisen und noch einige Metalle. In der heftigen Hitze des Knallgasgebläses, welche durch das Verbrennen eines Gemenges von Wasser- und Sauerstoffgas erzeugt wird, ist es aber gelungen, die unschmelzbaren Metalle in kleinen Quantitäten zu schmelzen und mehre der Erdarten wenigstens anzuschmelzen. Nach blofser Schätzung dürfte, wenn man den Lichtglanz der Glühhitze als ungefähren Mafsstab annimmt, der Schmelzpunct derjenigen Körper, die im Knallgasgebläse oder

im galvanischen Strome flüssig werden, auf 1800° C. oder 1440° R. zu setzen sein. (Gilbert's Annalen LV. 1. 40. 118.)

3.) Zu den Legirungen, welche bei einer bedeutend niederern Temperatur als ihre sie constituirenden Metalle schmelzen, gehören das Schnell-Loth der Klempner (4 Theile Blei, 6 Theile Zinn), dessen Schmelzpunct 169° C. beträgt, und das sogenannte Rose'sche Metall, welches noch unter der Siedehitze des Wassers in Fluss geräth. Nach Rose besteht diese Legirung aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn, welche bei 94° C. zu schmelzen beginnt, und eine Zusammensetzung von 497 Theilen Wismuth, 310 Theilen Blei, 177 Theilen Zinn und 26 Theilen Quecksilber wird schon bei 72,5° flüssig. (Seidel-Schweiger, Journal der Chemie u. Physik, 1830 I. 486.)

Erster Versuch. Bringt man eine dünne Stange oder einen Streifen dieser Metall-Legirung in Wasser, welches dem Sieden nahe ist, so beginnt dasselbe sehr bald wie Wachs herabzutropfen.

3.) Was die erwähnten Zuschläge oder Flussmittel betrifft, wozu unter anderen der hiervon benannte Flussspath gehört, so sind diese bei dem Hüttenwesen von besonderer Wichtigkeit, indem durch sie die strengflüssigen Metalle bei einer geringeren Hitze zum Flusse gebracht werden. So ist das reine Eisen im stärksten Hohofenfeuer unschmelzbar, der Kohlenstoff aber macht den Stahl und dieser nebst andern Beimischungen, als Phosphor, Silicium u. s. w., das Gusseisen schmelzbar. — Bei'm Löthen mit sogenanntem harten Loth (Zink und Kupfer) oder mit Silber bedient man sich des Borax, um das Fliessen der Metalle herbeizuführen, und bei dem schon erwähnten Schnell-Loth der Klempner wird Kalophonium zu diesem Zwecke angewendet.

Eine besondere Art von Schmelzmittel sind noch die, welche, indem sie selbst unter Sauerstoffentwickelung verbrennen, dabei so viel Hitze entwickeln, dass kleine Massen strengflüssiger Metalle, wie z. B. Kupfer und Silber, dadurch geschmolzen werden. Es gehört dahin das Schmelzpulver, welches unter dem Namen Baume's Schnellfluss bekannt ist. Dasselbe besteht aus 3 Th. geschmolzenem Salpeter, 1 Th. Schwefel und 1 Th. feinen harzigen Sägespänen.

Zweiter Versuch. Man fülle eine Nussschale mit diesem Schmelzpulver; legt man eine kleine Silbermünze darauf und zündet jenes Gemenge an, so wird während des Verbrennens die Münze schmelzen. — Da dieses Pulver nicht leicht anbrennt, so erreicht man den Zweck, die ganze Oberfläche auf einmal zu entzünden, wenn man dieselbe mit etwas feinem Schiefspulver bestreut.

4.) Körper, welche vor ihrem Schmelzen erst weich werden und allmälig aus dem starren in den flüssigen Zustand übergehen, giebt es bekanntlich mehre. Gröfstentheils stammen dieselben aus dem organischen Reiche, und ihr Schmelzpunct liegt meist unter der Siedehitze des Wassers. Zu denen, welche in der Technik mancherlei Anwendung finden, gehören unter anderen folgende:

Colophon beginnt zu schmelzen bei	135° C.	=	108° R.
Wachs, rohes, ...	61,2 -	=	49 -
weifses, ...	68,7 -	=	55 -
Talg	40 -	=	32 -
Pech, schwarzes, ...	33 -	=	26 -

Zu den eigentlich schweifsbaren Metallen gehört das Platin und reine Eisen. Bei der beginnenden Weifsglühhitze (1300°C.) werden sie weich, und es lassen sich in diesem Zustande einzelne Theile der genannten Metalle durch Schmieden oder starken Pressen innig verbinden, was man das Zusammenschweifsen nennt und worauf ihre technische Benutzung hauptsächlich mit beruht.

5.) Als flüchtige Körper können Arsenik, Jodine, Kampher etc. angeführt werden.

Dritter Versuch. Ein Stückchen Kampher, in einen Metall- oder Porzellanlöffel gelegt und über einer Spiritusflamme erhitzt, verflüchtigt sich in kurzer Zeit ohne Rückstand.

Vierter Versuch. Jodine, die sich in einer zugeschmolzenen Glaskugel oder Glasröhre (von ungefähr $\frac{1}{2}$—1 Zoll Weite) befindet, verwandelt sich, ohne flüssig zu werden, in schönen violetten Dampf, sobald man sie über einer Spirituslampe erhitzt.

§. 407.

Während ein Körper schmilzt, steigt seine Temperatur nicht, wie viel Wärme man ihm auch zuführen mag; Verstärkung der Hitze beschleunigt nur die Schmelzung. Die dem schmelzenden Körper zugeführte Wärme wird nämlich von ihm gebunden, um flüssig zu werden (§. 406), und die Quantität dieser dabei latent werdenden Wärme ist bei den verschiedenen Körpern verschieden.

Quecksilber enthält	86,6° C.	=	69,3° R.	latente	Wärme.
Wasser -	75 -	=	60 -	-	-
Zinn -	13,3 -	=	10,6 -	-	-
Blei -	5,6 -	=	4,6 -	-	-

Ueberhaupt ist aber die Kenntnifs [illegible] der Latentwerdungen der Wärme bei schmelzenden Körpern in quantitativer Hinsicht

bis jetzt noch ziemlich mangelhaft, und von den wenigen Körpern, bei welchen dieses untersucht wurde, sind die Angaben darüber aufserdem noch von sehr ungleichem Werthe. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 850.)

Von dem Gebundenwerden der Wärme durch Wasser kann man sich durch folgende Versuche überzeugen.

Erster Versuch. Stellt man ein Thermometer in Schnee, welcher unter 0° Temperatur hat, und bringt beides in ein warmes Zimmer, so wird das Thermometer bald zum Steigen kommen. Die freie Wärme der äufsern Umgebung nimmt nämlich der Schnee auf und erhöht dessen Temperatur, ist also offenbar frei wirkend. — Hat das Thermometer den Aufthaupunct erreicht, so bleibt es auf diesem stehen, wie viele Wärme auch dem Schnee zugeführt werden mag, bis er sich völlig in Wasser verwandelt hat. — Diese nun an den Schnee übergehende Wärme wird jetzt von demselben gebunden, wodurch die Umwandlung in Wasser erfolgt. — Hierauf beruht auch die Bestimmung des Aufthaupunctes am Thermometer und die Stabilität von dessen Temperatur.

Zweiter Versuch. Wenn man 1 Pfd. Wasser von + 75° C. oder 60° R. und 1 Pfd. Wasser von 0° zusammengiefst, so erhält man (nach 398) 2 Pfd. Wasser von + 37½° C. oder 30° R. — Giefst man aber auf 1 Pfd. Eis oder Schnee von 0° 1 Pfd. Wasser von + 75° C., so erhält man 2 Pfd. Wasser von 0° Temperatur. — Alle freie Wärme des auf das Eis gegossenen warmen Wassers wird also blos auf die Schmelzung des Eises verwendet, und nach diesem Versuche hat sich ergeben, dafs das Wasser 75° C. oder 60° R. gebunden enthält.

Das Wasser ist, da es von allen Stoffen die gröfste Wärme-Capacität besitzt (vergl. Tab. XVII) und in Folge der beträchtlichen Menge latenter Wärme, die es enthält, einer der einflufsreichsten Körper für die Temperatur-Ausgleichungen und klimatischen Verhältnisse auf unserer Erde. Bei der überwiegenden Menge dieser überall vorkommenden Flüssigkeit vermag sie zunächst durch ihre bedeutende Wärme-Capacität die erzeugte zu grofse Hitze zu mildern und die strenge Kälte zu mäfsigen, indem sie bei steigender Temperatur eine beträchtliche Menge der freien Wärme aufnimmt, welche sie eben so bei eintretender Temperatur-Erniedrigung wieder abgiebt, worauf die verhältnifsmäfsig geringe Veränderlichkeit des Insel- und Küsten-Klimas beruht. (Die Lufttemperatur am Aequator über dem Ocean variirt das ganze Jahr hindurch kaum um 2°; die des Wassers ist noch constanter, zwischen + 26,5° C. und 27,2° C.) Noch ungleich wichtiger aber ist der Einfluss der latenten und wieder frei werdenden Wärme beim Schmelzen und Entstehen des Eises in den kälteren Zonen der Erde. Wenn nämlich das

Wasser durch eine auf 0° C. herabgehende Temperatur ohne Abgabe seiner latenten Wärme gefröre, so würden sofort alle Flüsse und Teiche bei der ersten eintretenden bis 0° herabgehenden Kälte in Eis verwandelt werden, und Wasser wäre nur durch künstliche Heizmittel zu erhalten. Indem aber das gefrierende Wasser bei seiner Verwandelung in Eis so viel latente Wärme abgiebt, als hinreicht, eine 75mal so grofse Menge um 1° C. zu erwärmen, so gefriert allezeit nur ein kleiner Theil, während der bei Weitem gröfsere die frei gewordene Wärme aufnimmt. Da das Wasser unter + 3,7° C. leichter wird, so steigt dieses nach hydrostatischen Gesetzen zur Oberfläche, es bildet sich daher an dieser zuerst eine Eisdecke, durch welche als schlechter Wärmeleiter die frei gewordene Wärme nicht leicht dringt, und so überschreitet die Dicke des Eises unter mittleren Breiten nie 1 bis 3 Fufs, unter höheren etwa 3 bis 6, in den kältesten Regionen der Erde nie 10 bis 12 Fufs, und tiefere Landseeen können nie bis auf den Grund ausfrieren. Ein entgegengesetzter grofser Nutzen zeigt sich beim Zergehen des Eises. Würde hierbei nicht eine so grofse Menge Wärme gebunden, so müfste bei'm Uebergange der Temperatur über 0° sofort die gesammte vorhandene Masse von Eis und Schnee in Wasser verwandelt werden und die furchtbarsten Ueberschwemmungen anrichten, kurz ohne die latente Wärme des Wassers würde die Erde bei den ihr eigenthümlichen Temperaturverhältnissen ganz unbewohnbar sein.

Nicht immer aber ist ein äufsererer Wärmezufluſs erforderlich, um einen starren Körper zu schmelzen oder flüssig zu machen. Manche feste Körper gehen nämlich auch in den Zustand der Flüssigkeit über, wenn sie mit einer Flüssigkeit, eben so auch, wenn sie mit Schnee oder Eis in Berührung kommen. Diese Eigenschaft besitzen die meisten krystallisirten Salze. Sobald man ein derartiges Gemenge von Salzen mit einer Flüssigkeit oder Schnee bildet, wird durch die gegenseitige Einwirkung solcher Stoffe auf einander entweder der eine oder werden sie beide gezwungen, in den Flüssigkeitszustand überzugehen, und dazu dient sowohl ein Theil ihrer eigenen freien Wärme, als auch ein Theil der Wärme, die dem Gefäfse entzogen wird, worin sich das Gemenge der Körper befindet. Die Folge davon ist, dafs während des Schmelzens des Gemenges dessen Temperatur sinkt und

die dabei entstehende Abkühlung oder Erzeugung von Kälte ist um so gröfser, je schneller das Schmelzen erfolgt und je mehr Wärme die schmelzenden Körper binden. Hierauf beruhen nun auch die verschiedenen künstlichen Frostmischungen.

Die folgenden Versuche können hierzu als Beweis dienen:

Erster Versuch. Man schütte in ein Glas Wasser, worin sich ein Thermometer befindet, eine hinlängliche Quantität frisch gepulvertes schwefelsaures Natron (Glaubersalz), Chlorammonium (Salmiak) oder salpetersaures Kali (Salpeter). — Bei'm Umrühren des Gemenges wird der Thermometer die eintretende Temperaturerniedrigung anzeigen.

Zweiter Versuch. 1 Theil salpetersaures Ammoniak und 1 Th. Wasser von + 10° C., mit einander gemengt, bringen 15° C. Kälte hervor. — Oder 5 Th. Chlorammonium und 5 Th. salpetersaures Kali, mit 10 Th. Wasser von + 10° C. gemengt, erzeugen ein Sinken der Temperatur bis — 12° C.

Die aufgelösten Salze lassen sich, nachdem man sie wieder hat krystallisiren lassen, von Neuem zu diesen Versuchen anwenden.

Dritter Versuch. 5 Theile Hydrochlorsäure (Salzsäure), auf 8 Theile frisch gepulvertes schwefelsaures Natron gegossen, bringen die Temperatur von + 10° C. auf — 17° C.

Wasser, welches man in dünnen Glasröhren in diese Frostmischung oder auch in die des zweiten Versuches setzt, verwandelt sich nach kurzer Zeit in Eis.

Vierter Versuch. 1 Theil Schnee oder zerstofsenes Eis und 1 Theil Chlornatron (Kochsalz) gehen von 0° C. bis zu — 17° herab.

Fünfter Versuch. 2 Theile Schnee und 3 Theile fein gepulvertes krystallisirtes Chlorcalcium (salzsaurer Kalk) erzeugen eine Kälte von — 45° C. oder — 36° R. — In dieser Frostmischung kommt Quecksilber, flüssiges Ammoniak und Aether zum Krystallisiren. (S. Berzelius, Lehrb. d. Chem. 4te Aufl. I 65. 5te Aufl. I. 62.)

Die gröfste Kälte erzeugte Thilorier auf diese Weise durch Vermengung fester Kohlensäure mit Schwefelsäure oder Schwefeläther; sie betrug — 78,8° bis — 85° C. oder — 63° bis 68° R. Mitchel fand bei Anwendung derselben Mittel, dafs Alkohol von 0,798 spec. Gew. bei — 90° C. dem Oele, bei 98,9° dem schmelzenden Wachse glich. (S. Erdmann Schweigger, Journ. f. prakt. Chem. VI. 69. 1835, IX. 317. 1836, und Baumgartner, Zeitschr. f. Phys. IV. 375. 1837.)

Sollen die Resultate so ausfallen, wie sie die voranstehenden Versuche angeben, so ist Folgendes dabei zu beachten:

1.) Die in Anwendung kommenden Salze dürfen ihr Krystallwasser nicht verloren haben, weil in einem solchen Falle, wenn sie stark ausgetrocknet oder verwittert (§. 80.) sind, wie dieſs z. B. bei'm schwefelsauren Natron bald erfolgt, sie die ersten Antheile Wasser so begierig absorbiren und in Krystalleis verwandeln, daſs dadurch sogar eine beträchtliche Menge Wärme frei wird. 2) Die Salze müssen fein gepulvert sein, damit ihre Auflösung in den Flüssigkeiten schnell erfolgen kann. Hauptsächlich aber muſs man dafür sorgen, daſs 3.) dem Gefäſse, in welchem sich das Gemenge befindet, nicht zu viel Wärme von aufsen zugeführt wird. Zu diesem Ende darf man zunächst nicht zu kleine Quantitäten der Frostmischung anwenden, dann aber ist es auch nothwendig, sobald die Temperatur der äufsern Umgebung nicht an sich schon ziemlich niedrig ist, und sobald man eine grofse und einige Zeit ausdauernde Kälte erhalten will, ein äufseres tiefes und grofses Gefäſs mit kaltmachender Mischung zu wählen, in dieses ein kleineres, gleichfalls mit erkältenden Substanzen gefüllt, zu setzen und in letzteres erst die zum Gefrieren oder zum tiefen Erkalten bestimmte Substanz zu bringen. Das äufsere Gefäſs muſs aus einem schlechten Wärmeleiter, als Holz, Töpferthon u. dergl., bestehen, das innere Gefäſs dagegen, in welchem die Kälte hervorgebracht werden soll, muſs ein guter Wärmeleiter und möglichst dünn sein. — Um Wasser in nicht ganz kleinen Quantitäten in Eis zu verwandeln, empfiehlt Walker folgenden zweckmäſsigen Apparat. Es besteht derselbe aus einem weiten cylindrischen zinnernen Gefäſse mit dicken Wandungen, worein ein anderes gleich hohes mit dünnen Wänden gesetzt wird. Dieses besteht aus zwei verbundenen concentrischen hohlen Cylindern, deren Zwischenraum das Wasser oder die zu erkaltende Substanz ausfüllt, die somit auf beiden Seiten von dem kaltmachenden Gemenge eingeschlossen ist, womit man das äufsere Gefäſs und den innern Cylinder anfüllt. Hierzu wendet er das oben im zweiten Versuche angegebene Gemenge von Chlorammonium und salpetersaurem Kali mit Wasser an, welches den Vortheil währt, daſs man durch Abdampfen die Salze zu neuem Gebrauch wieder gewinnt. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 853.)

Die gröfste natürliche Kälte beobachtete Prof. Hanstee zwischen Krasnojarsk und Nishne-Udinks unter 55° nördlicher Breite, wo sie — 55° (R.?) betragen haben soll. Ein solches Uebermaſs von Kälte ist jedoch nirgends auf der Erde anhaltend, obschon um Jakutsk die mittle Temperatur des Decembers — 42,5° C. oder — 34° R. betragen soll. Im Jahr 1828 wa

daselbst die Kälte ohne Unterbrechung vom 1. bis 10. Januar über — 50° C. oder — 40° R. Die russische Expeditions-Armee nach Chiwa hatte in der Kirgisensteppe im December 1839 an einigen Tagen eine Kälte von — 41° C. oder — 33° R. zu überstehen. — Die gröfste in neuerer Zeit zu Dresden beobachtete Kälte betrug am 23. Januar 1823 früh um 8 Uhr — 35 C. oder — 28° R.

§. 408.

Der Gegensatz des Schmelzens ist das Erstarren, wo nämlich tropfbare Flüssigkeiten, sobald ihnen ihre freie Wärme entzogen wird, in den festen Zustand übergehen. Dabei pflegt man, ohne eigentlich bestimmte Feststellung der Wortbedeutung, sich des Ausdrucks Gestehen oder Festwerden bei solchen Stoffen zu bedienen, welche erst über dem Schmelzpuncte des Eises flüssig werden, den Ausdruck Gefrieren aber bei solchen zu gebrauchen, die bei oder unter diesem Puncte den Zustand der Festigkeit annehmen. Die meisten Körper krystallisiren dann bei'm Festwerden, wenn sie sich unter geeigneten Umständen befinden, und viele nehmen dabei ein gröfseres Volumen an. Der Natur der Sache nach mufs die Temperatur, bei welcher Körper fest werden, dieselbe sein, bei der sie schmelzen, obschon die Erfahrung hierbei einige Anomalieen zeigt. Dieser Fall tritt hauptsächlich dann ein, wenn sich die erstarrende Flüssigkeit im Zustande vollkommener Ruhe befindet, wogegen eine derartige Temperatur-Differenz nicht bemerkt wird, wenn sich die Flüssigkeit im Zustande der Bewegung befindet. Sobald aber das Erstarren beginnt, scheidet sich diejenige Quantität Wärme wieder aus, welche den Körper bei seinem Schmelzen gebunden hatte.

Folgende Versuche können für das Angeführte als Beleg dienen:

Erster Versuch. In ein Glas Wasser, dessen Oberfläche mit einer dünnen Oelschicht bedeckt ist, senke man die Kugel eines Thermometers bis ungefähr in die Mitte des Wassers und stelle das Glas bei strenger Kälte in's Freie. — Das Wasser

bleibt flüssig, selbst wenn dessen Temperatur bis zu — 12 sinkt, sobald es völlig ruhig ist. Bringt man es aber in Bew ung oder wirft ein kleines Stückchen Eis hinein, so beginnt fort das Gefrieren, das Thermometer steigt auf 0° und behält d Temperatur so lange, bis das ganze Wasser sich in Eis verwan hat. Das Wasser muſs während der Eisbildung so viel Wä ausscheiden, daſs das unter 0° stehende Thermometer di Temperaturzustand annimmt. — Fahrenheit war der Er welcher diese Erscheinung beobachtete.

Zweiter Versuch. In eine Flasche von dünnem G (Medicinglas) mit etwas weitem Halse schütte man 51 Th krystallisirtes schwefelsaures Natron (Glaubersalz) und 49 Wasser, wovon das Innere der Flasche ungefähr zu z Dritttheilen ausgefüllt werden muſs. Dieses Gemenge bri man in's Sieden und verkorkt in diesem Zustande die Fla luftdicht, wodurch dann über der Lösung ein ziemlich luft dünnter Raum verbleibt. Auf diese Weise verfahren, bleibt Lösung auch noch flüssig, wenn sich die Temperatur schon viel erniedrigt hat, daſs das Salz krystallisiren müſste, so la nur die Flüssigkeit nicht bedeutend erschüttert wird. — Be Oeffnen des Stöpsels oder bei'm Hineinwerfen eines solc Salzkrystalls in die Flüssigkeit krystallisirt diese plötzlich o verwandelt sich in eine starre Masse, und man fühlt die da eintretende Temperaturzunahme, welche sich auch messen li sobald man nach Oeffnung der Flasche sofort die Kugel ei Thermometers in die Flüssigkeit senkt.

Dritter Versuch. In eine gesättigte Auflösung des sch felsauren Natrons in Wasser bringe man ein Thermometer gieſse nun starken Weingeist hinzu. — In demselben Aug blicke wird ein Theil des Salzes krystallisiren, und das in Flüssigkeit stehende Thermometer wird die frei werde Wärme anzeigen.

Folgendes giebt die Gefrierpuncte einiger der vorzüglich Flüssigkeiten:

Wasser gefriert bei	0° C.	
Meerwasser, von 1,027 spec. Gew.	— 2,55	Despretz.
	— 2,88	Erman.
	— 5,00	Parrot.
Schwefelsäure, engl., v. 1,78 spec. G.	— 5,25	Berzelius.
- rauchende, v. 1,84 spec. G.	— 11,3	Bellani.
Salpetersäure, von 1,3 spec. Gew.	— 19,0	Dalton.
- concentrirte . . .	— 45,5	Parry.
Terpentinöl, rectificirtes, . . .	— 27	-
Quecksilber	— 35 bis 39	Ross.
	— 40,5	Pouillet.

Hydrochlorsäure (Salzsäure) gefriert unter 40° C.
Schwefelkohlenstoff bei . . . . . 45 - Parry.
Schwefeläther. . . . . ? . . 98,9 - Mitchell.
Alkohol . . . . . 100(?) Thilorier.
(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 995.)

§. 409.

Tropfbare Flüssigkeiten oder auch manche geschmolzene Körper nehmen bei noch höherer Temperatur, also bei mehr gesteigerter Abstofskraft ihrer Molecule, die Luft- oder Gasform an. Die eigenthümlich wallende Bewegung, welche durch das Aufsteigen der entstehenden elastischen Flüssigkeit in der tropfbaren hervorgebracht wird, heifst bekanntlich das Sieden oder Kochen und jenes sich bildende Gas der Dampf.

Der Siedepunct oder die Temperatur, bei welcher das Sieden beginnt, ist sowohl bei den verschiedenen Flüssigkeiten als auch nach dem auf der Flüssigkeit lastenden Drucke verschieden. Dieser Druck wird einerseits und hauptsächlich von der atmosphärischen Luft und dem in ihr befindlichen Wassergas, anderseits aber auch von den über einander liegenden Flüssigkeitsschichten ausgeübt. Erst dann, wenn die Expansiv- oder Spannkraft der Dämpfe gröfser wird als dieser Druck, fängt das Sieden durch die ganze Flüssigkeitsmasse an.

Erster Versuch. In einen möglichst dünnen Glasbecher, ein sogenanntes Digerirglas, gieſse man etwa bis zur Hälfte destillirtes Wasser und bringe denselben in einer kleinen Sandcapelle, um das Zerspringen des Glases zu verhindern, über eine Spirituslampe, während man die Kugel eines Thermometers in das Wassers taucht; dann werden sich folgende Erscheinungen zeigen: Das Thermometer fängt an allmälig zu steigen, so wie sich die Wärme dem Wasser mittheilt. Nach einiger Zeit bemerkt man, dafs sich an die Glaswände eine Menge kleiner Bläschen ansetzen, welche nach und nach zur Oberfläche des Wassers emporsteigen und dort verschwinden. Es sind diefs die im Wasser enthaltenen Gase, meist atmosphärische Luft, welche sich bei steigender Temperatur von diesem trennen

(s. §. 62 zweiter Versuch). Nähert sich der Stand des Thermometers dem 100.° C. oder dem 80.° R., so entstehen neue Luftbläschen, welche vorzüglich vom Boden des Glases aufsteigen, die aber in den oberen, noch nicht hinlänglich erwärmten Wasserschichten wieder verschwinden und nach und nach die Temperatur derselben erhöhen. Es ist diefs das Beginnen der Dampfbildung, wobei sich meist ein eigenthümliches Geräusch vernehmen läfst, welches dem Sieden kurz vorangeht. Hat endlich die ganze Wassermasse den erforderlichen Wärmegrad angenommen, so steigen die immer gröfser werdenden Dampfblasen bis zur Oberfläche, zerplatzen an dieser und erzeugen die wallende Bewegung, welche man eben das Sieden oder Kochen nennt. So wie diese Erscheinung eintritt, mufs das Thermometer auf + 100° C. oder 80° R. stehen, und diese angezeigte Temperatur steigt bei fortgesetztem Erhitzen nicht höher, sondern das Wasser vermindert sich allmälig und verschwindet endlich ganz. — Hierauf beruht die Stabilität des Siedepunctes am Thermometer. (§. 371.)

Die Siedepuncte einiger der vorzüglichsten Flüssigkeiten und geschmolzener Körper bei 0,76^{m} Barometerstand sind folgende:

Schwefelige Säure siedet b.	— 10° C. od.	— 8° R.	Bussy.
Salzäther	+ 12,5 -	- + 10 -	Gehler.
Salpeteräther	+ 21,0 -	- + 17 -	Dumas.
Schwefeläther	+ 35,0 -	- + 28 -	Munke.
Schwefelkohlenstoff .	+ 43,0 -	- + 34 -	Berzelius.
Essigäther	+ 74,0 -	- + 57 -	Dumas.
Alkohol, absoluter, . . .	+ 78,4 -	- +62,7-	Gay-Lussac
Wasser, reines, ...	+100,0 -	- + 80 -	
Essig, gemeiner, über . .	+100,0 -	- + 80 -	Mollerat.
Chlorwasserstoffsäure b.	+110,0 -	- + 85 -	Rineau.
Salpetersäure, spec. G. 1,42	+121,0 -	- + 97 -	Dalton.
Terpentinöl	+156,0 -	- +125 -	Dumas.
Schwefelsäure, gemeine,	+288,0 -	- +230 -	Davy.
Leinöl	+316,0 -	- +253 -	Marray.
Quecksilber	+360,0 -	- +288 -	Mitscherlich
Kampher	+104,0 -	- + 83 -	Dumas.
Jod.	+175,0 -	- +140 -	Dumas.
Phosphor	+290,0 -	- +232 -	Mitscherlich
Schwefel	+316,0 -	- +253 -	Mitscherlich

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 1051.)

Im Betreff dieser angegebenen Temperaturen der Siedehit mufs noch bemerkt werden, dafs sich dieselben ändern, s bald die Flüssigkeiten nicht rein sind, wie z. B. Salzlösung bei höheren Temperaturen als reines Wasser sieden, und eb so auch das Sieden von Mischungen verschiedener Flüssigkeite

bei verschiedenen Temperaturen, je nach dem quantitativen Verhältnisse der Bestandtheile eintritt. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 1018, und Pouillet's Lehrb. d. Phys. v. Müller I. 289.) — Bei manchen von dergleichen Solutionen findet vor dem Sieden und während desselben ein heftiges Stofsen statt, wobei das Thermometer beträchtliche Schwankungen zeigt. Dieses oft störende Hindernifs, welches meist noch mit einem Herumspritzen der Flüssigkeit verknüpft ist, läfst sich nach Legrand's Beobachtungen beseitigen, wenn man einige Stückchen Zink oder Eisen in die Flüssigkeit wirft; sollten diese aber angegriffen werden, so mufs man sich statt deren des Platins oder Glases bedienen.

Ein hierher gehöriges eigenthümliches Phänomen ist es, dafs einige Flüssigkeiten, vorzüglich Wasser, wenn sie in kleinen Massen auf glühende Metallflächen gebracht werden, nicht in's Sieden kommen, sondern anstatt zu zerfliefsen, wie diefs geschieht, wenn die Metalle so weit nicht erhitzt sind, Kugelgestalt annehmen und in eine rotirende und oscillirende Bewegung gerathen, während welcher sie weit langsamer verdampfen, als diefs bei'm Sieden der Fall ist. Sobald aber das Metall bis zu einer gewissen Temperatur erkaltet, beginnt die Flüssigkeit plötzlich mit der gröfsten Heftigkeit zu kochen, so dafs sie nach allen Richtungen fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von Leidenfrost (1797) beobachtet, und es läfst sich dieselbe durch folgenden Versuch nachweisen.

Zweiter Versuch. Eine Platinschale oder in Ermangelung derselben einen silbernen Löffel erhitze man über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen und lasse hierauf mittels einer Pipette einige Tropfen Wasser auf die glühende Metallfläche fallen. Die Flüssigkeit nimmt dann wie Quecksilber die Kugelgestalt an, geräth in rasche drehende Bewegung, ohne in's Kochen zu kommen, wobei sie jedoch langsam an Volumen abnimmt. Entfernt man die Spirituslampe, so beginnt die Schale zu erkalten, und nach einiger Zeit erreicht sie die Temperatur, wo der Wassertropfen plötzlich in's Kochen geräth oder bisweilen auch mit einer kleinen Explosion zerstiebt. Besonders merkwürdig sind die bei der eintretenden rotirenden Bewegung des Wassertropfens zuerst vom Dr. Böttger beobachteten eigenthümlich sternförmigen Formen, welche derselbe annimmt, wenn er nahe die Gröfse von ½ Zoll hat. Sie ähneln vollkommen den in regelmäfsige aus- und eingebogene Curven übergehenden Schwingungen, welche die Lichtpuncte des Kaleidophons (§. 219) darstellen, und deuten einen in den Flüssigkeits-Moleculen eingetretenen Schwingungszustand an.

(S. Böttger's Beitr. z. Phys. u. Chem. Hft. I. S. 50.)

Bis jetzt haben alle diese Erscheinungen noch keine völlig befriedigende Erklärung gefunden; nur was die oscillirende Bewegung betrifft, so lieſse sich diese aus der Annahme erklären, daſs die Wärmephänomene eine Folge vibrirender Bewegungen des in den Körpern enthaltenen Aethers und ihrer Molecule wären. (S. §. 357 u. 436.) Die von mehren Physikern versuchten Erklärungen dieses Phänomens findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 486—498; Marbach's phys. Lex. IV. 838; Handwrtb. d. Phys. u. Chem. I. 40; Fechner's Repert. d. Phys. II. 401; Poggendorff's Annalen LII. 538, LVII. 29.

So wie daher der Druck auf der Oberfläche einer Flüssigkeit zunimmt, rückt auch die Temperatur ihres Siedepunctes höher hinauf, wogegen bei Verminderung desselben das Sieden auch schon bei einer geringeren Temperatur beginnt. Der gewöhnlich stattfindende Luftdruck ist deshalb auch die Ursache, daſs überhaupt mehre Flüssigkeiten, wie z. B. Alkohol, die verschiedenen Aetherarten u. a., bei unserer gewöhnlichen Temperatur als tropfbare Flüssigkeiten existiren.

Als Beleg hierzu dienen die §. 201 angeführten Versuche 1 und 2. — Ferner beruht ebenfalls auf der Verminderung oder Aufhebung des Luftdrucks das Sieden des Wassers oder verdünnten Weingeistes durch die bloſse Wärme der Hand in dem sogenannten Wasserhammer und in dem Pulshammer. Der erstgenannte Apparat wurde bereits §. 145 beschrieben, der letztere besteht aus einer etwa 8 Zoll langen, gegen 2 Linien weiten Glasröhre, die an beiden Enden nach einer Seite rechtwinkelig umgebogen und dort durch zwei etwa 1½ Zoll im Durchmesser groſse Kugeln verschlossen ist. Im Innern dieses Apparates befindet sich so viel Wasser oder verdünnter Weingeist, daſs die Röhre, welche die beiden Kugeln verbindet, und diese etwa bis zur Hälfte davon angefüllt sind; der übrige Raum muſs luftleer sein. — Umfaſst man nun eine der Kugeln mit der Hand, so geräth die Flüssigkeit in der andern Kugel sehr bald in die wallende Bewegung, wie sie bei siedenden Flüssigkeiten stattfindet. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 1042 u. 1044.)

So ist auch der verminderte Luftdruck auf hohen Gebirgen die Ursache, daſs die Siedehitze des Wassers um so geringer ausfällt, je höher die Puncte des Gebirges sind oder je niedriger

auf ihnen der Barometerstand ist (§. 207). Folgende Beispiele werden hierzu als Belege dienen:

Höhenpuncte.	Höhe in Par. F.	Barometerstand in Par. Z.	Siedepunct in C. Graden.
Montblanc	14800	16	86,5.
Pik von Teneriffa	11200	$19\frac{5}{12}$	87,75.
Quito	8900	$19\frac{1}{2}$	90.
St. Bernh.-Hospiz	7668	$19\frac{3}{4}$	92,25

(Eine tabellarische Zusammenstellung mehrer Orte findet man in Pouillet's Lehrb. d. Phys. von Müller 1842. I. 286.)

Auf so hohen Puncten genügt dann die Hitze des in offenen Gefäfsen siedenden Wassers nicht, um die thierische Muskelfaser genugsam zu erweichen, weshalb sich die Bewohner solcher Orte zur Bereitung nahrhafter Speisen des Papin'schen Digestors bedienen müssen. Es besteht derselbe aus einem fest verschliefsbaren Metallgefäfse, an dem sich zur Vorsicht ein Ventil befindet, um den sich zu sehr anhäufenden Dämpfen durch dasselbe einen Ausweg zu verschaffen. Durch die sich über dem Wasser sammelnden Dämpfe wird der Druck auf dasselbe vermehrt, weshalb dann das Sieden erst bei einer höhern Temperatur eintreten kann.

Da man aus der Gröfse des Luftdruckes die Höhe eines Ortes nach §. 207 berechnen kann, die Siedehitze des Wassers aber um so geringer ist, je weniger der Luftdruck beträgt, so ist letzterer auch nach der Temperatur, bei welcher Wasser zum Sieden kommt, bestimmbar. Hierauf beruht das Wollaston'sche Verfahren, sich des Thermometers als Höhenmefsinstruments zu bedienen. Ist die Temperatur, bei welcher das Wasser siedet, $= t°$ C., so findet man den Barometerstand in Metern nach der Formel:

$$log.\ b = \frac{29{,}945371 \cdot t}{800 + 3\,t} - 2{,}2960374.$$

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. V. 332, und Fischer's Lehrb. d. mechan. Naturl. I. 601.)

Endlich wird es auch hieraus nun erklärlich sein, warum man bei der Bestimmung der Siedepuncte an Thermometern stets auf den Barometerstand oder Luftdruck Rücksicht zu nehmen hat, und dafs deshalb eine Correction dieses Punctes nothwendig wird, sobald der Barometerstand ein anderer als 28 Par. Zoll ist (§. 371). Für jede Linie über diesem Barometerstand mufs man nämlich die Scala um 0,0011 ihrer Länge vom Nullpuncte bis zum Siedepuncte verkürzen und für jede Linie unter demselben um so viel verlängern.

Die Temperatur einer siedenden Füssigkeit, wenn sich selbige in einem offenen Gefäfse befindet, erhöht sich nicht

durch fortgesetztes Erhitzen (wie auch schon bei dem oben angeführten Versuche bemerkt wurde). Es wird nämlich wie bei einem schmelzenden Körper die zuströmende Wärme von dem sich bildenden Dampfe gebunden (§. 404), und die Quantität dieser latenten Wäme ist ebenfalls nach der Natur der Flüssigkeit verschieden.

Hieraus erklärlich ist, warum man Wasser in Papier bis zum Sieden bringen kann, ohne dafs dieses verbrennt, und warum ein zinnernes Gefäfs auf glühenden Kohlen nicht schmilzt, sobald eine Flüssigkeit darin ist.

Um die Wärmemenge zu finden, welche eine Flüssigkeit bindet, wenn sie in Dampf verwandelt wird, ist ein ähnliches Verfahren anzuwenden wie bei der Ermittelung der specifischen Wärme der Gase (§. 400). Es wird nämlich eine gewisse Gewichtsmenge von der zu untersuchenden Flüssigkeit in einem Gefäfse verdampft, von welchem ein Rohr die Dämpfe nach einem zweiten mit kaltem Wasser gefüllten Gefäfse, dem Kühlgefäfse, führt. Dieses Rohr hat eine spiralförmig gewundene Gestalt, damit die Dämpfe unter Abgabe ihrer ganzen latenten Wärme sich völlig wieder in tropfbare Flüssigkeit verwandeln können. Aus der Temperaturerhöhung des im Kühlgefäfse enthaltenen Wassers läfst sich dann die Menge der von den Dämpfen an dieses übergegangenen Wärme berechnen. — Gesetzt, das Kühlgefäfs enthalte 15 Pfd. Wasser von + 12° C. Wärme, so würde der von 1 Pfd. Wasser durch das Spiralrohr geleitete Dampf die Temperatur jenes Wassers um 39¼ C. erhöhen, wodurch dieses also eine Wärme von 51¼° C. erhielte. Es mufs mithin dieses eine Pfund in Dampf verwandelte Wasser an jene 15 Pfd. Wasser des Kühlgefäfses 15 . 39¼ = 588¾° C. Wärme abgeben, während der dadurch in tropfbaren Zustand wieder übergegangene Dampf jene Temperatur von 51¼° C. annimmt, und daher von der Wärme + 100°, die er bei seiner Umwandlung in Dampfform besafs, 100 — 51¼ = 48¾° C. verloren haben. Wird dieser Wärmeverlust des Wasserdampfes 48¾° C. von der Wärmemenge abgezogen, um welche sich die Temperatur des Wassers im Kühlgefäfse erhöhte, nämlich von 588¾° C., so mufs die Differenz 540° C. die in dem Wasserdampfe gebunden gewesene Wärmemenge angeben.

Die auf diesem Wege von mehren Physikern erhaltenen Resultate schwanken zwischen + 530° und + 555° C., gewöhnlich aber wird der von Despretz und Ure bestimmte Mittelwerth angenommen, wonach Wasserdampf von + 100° C. 546° C. gebundene Wärme enthält. — Bei der Annahme dieses

Werthes ergiebt sich dann, dafs nach den Gesetzen der Ausgleichung der Temperaturen zwischen gleichartigen Körpern (§. 398) 1 Gewichttheil Wasserdampf von + 100° C. die 5,4fache Gewichtmenge Wasser von 0° bis zur Siedehitze bringen, oder die Temperatur der 540fachen Wassermasse um 1° C. erhöhen würde. Da nun 1 Pfd. Eis 75° C. Wärme bindet, um sich in Wasser von der Temperatur 0° zu verwandeln (§. 407 zweiter Versuch), so ergiebt sich hieraus auch noch, dafs Wasser gerade 7½- oder 7,2mal so viel Wärme braucht, um in Dampf von + 100° C. überzugehen.

Bezeichnet allgemein M die Wassermasse im Kühlgefäfse und T dessen Temperatur, m die Masse der verdampfenden Flüssigkeit und t die Temperatur ihrer Siedehitze, endlich t^1 die nach der Wärmeausgleichung beider Flüssigkeitsmassen sich zeigende Temperatur, so wird die latente Wärme x der Einheit des Dampfes der untersuchten Flüssigkeit aus der Gleichung

$$m\,(t-t^1) + mx = M\,(t^1 - T)$$

gefunden, nämlich:

$$x = \frac{M\,(t-T) - m\,(t-t^1)}{m}$$

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. 287.)

Bisher wurden meist die aus Ure's Untersuchungen darüber hervorgegangenen Resultate als constatirte Werthe angenommen; nach den kürzlich von Dr. Brix in Berlin mit aller Umsicht und Sorgfalt ausgeführten Versuchen haben sich aber bei einigen Flüssigkeiten gegen jene Werthe nicht unbedeutende Differenzen ergeben, wie nachstehende Zusammenstellung zeigt:

	Ure.		Brix.	
	C. Gr.	R. Gr.	C. Gr.	R. Gr.
Wasser	537,22	430	540	430
Essigsäure (spec. G. 1,007)	486,11	388,88	—	—
Ammoniak (spec. G. 0,978)	465,15	372,12	—	—
Salpetersäure (spec G. 1,494)	296,66	237,33	—	—
Alkohol	245,56 (spec. G. 0,825)	196,45	214,25 210,25 (spec. G. 0,798)	171,40 168,6
Schwefeläther	168,00	134,40	89,96 (spec. G. 0,726)	71,97
Terpentinöl	98,82	79,05	74,04 (spec. G. 0,867)	59,23

(Poggendorf's Annal. LV. 341.)

§. 410.

Tropfbar-flüssige so wie einige starre Körper verwandeln sich auch noch auf eine nicht unmittelbar bemerk-

hare und zwar nur von ihrer Oberfläche aus in iese Umwandlung in Gasform nennt man das is n. Es giebt für diesen Uebergang in den luftnigen Zustand keinen solchen bestimmten Verdunstungspunct, wie es z. B. einen Schmelz- oder Siedepunct gab, sondern die Verdunstung geht bei verschiedenen Temperaturen, selbst bei grofser Kälte, vor sich. Nur der Gegendruck einer gleichartigen Gasart setzt, wie später noch ausführlicher erklärt werden wird, der ferneren Verdunstung Grenzen.

Erster Versuch. Wenn man ein Gefäfs mit Wasser, Weingeist, Aether u. dergl. offen an die Luft stellt, so wird man nach einiger Zeit eine Verminderung und endlich das gänzliche Verschwinden der Flüssigkeit wahrnehmen. — Auf ähnliche Weise verhalten sich Kampher, kohlensaures Ammoniak und noch einige andere starre Körper. — Am Quecksilber hat man beobachtet, dafs dieses noch bei — 10° C. verdunstet, indem in dieser Temperatur ein dicht über ihm aufgehängtes Goldblättchen von den Quecksilberdämpfen weifs wird.

Befinden sich dagegen die verdunstbaren Körper in einem gut verschlossenen Glasgefäfse, so verdunstet nur so viel von ihnen, als der abgeschlossene Luftraum davon aufnehmen kann, und die Gegenwirkung der bereits gebildeten Dünste auf die Oberfläche des noch vorhandenen Stoffes verhindert die weitere Verdunstung.

Die Ursache des Verdunstens läfst sich ziemlich genügend auf folgende Weise erklären. Jeder Körper enthält noch, selbst bei den höchsten Graden der Kälte, eine gewisse, obschon geringe, Menge Wärme. Die dadurch zwischen den Molecülen der Körpermaterie bedingte Abstofskraft wird aber im Innern durch die überwiegende Attraction neutralisirt oder aufgehoben. An der Oberfläche dagegen findet das Ausdehnungsstreben nach aufsen keinen solchen Widerstand, und die in ihr befindlichen Körpertheilchen können durch die denselben von aufsen zugeführte Wärme eine solche Expansivkraft annehmen, dafs sie die vorhandene Cohäsion überwinden, sich von den übrigen Theilchen trennen und nun in den gasförmigen Zustand übertreten.

Es ist aber auch bei jedem Körper eine so niedere Temperatur denkbar, wo die von der Wärme an der Oberfläche erzeugte Expansivkraft durch die Cohäsion der Stoffe selbst überwunden wird, und dieſs mufs die Grenze der Verdunstung sein.

Hieraus ist es auch erklärlich, dafs starre Körper, die eine weit stärkere Cohäsion als flüssige besitzen, im Allgemeinen weniger verdunstbar sind als diese, und dafs selbst bei beiden Aggregatformen in Folge des verschiedenen Cohäsionsgrades auch ein verschiedener Grad der Verdunstbarkeit stattfindet. Aus demselben Grunde erklärt es sich, dafs bei der Mehrzahl der festen Körper in der gewöhnlichen Temperatur die Dunstbildung gänzlich gehemmt ist, weshalb sie auch Jahrhunderte hindurch Gestalt und Gewicht unverändert beibehalten.

Bei manchen starren Körpern läfst sich dagegen ihre in der Luft ununterbrochen fortwährende Verdunstung durch directe Versuche nachweisen. Ein Stück trocknes Eis, der strengsten Kälte ausgesetzt, verliert täglich etwas an seinem Gewichte. Bei mehren andern Körpern kann man ihr Verdunsten unzweifelhaft aus dem Geruche folgern, den sie verbreiten. So ist es z. B. bekannt, dafs auch manche Metalle einen eignen, zwar schwachen, aber doch bemerkbaren Geruch besitzen. Diese Dünste der starren Körper müssen aber unermefslich feiner sein als die dünnste Luftart, weil viele riechbare Stoffe, selbst nach einem langen Zeitraume auch auf der empfindlichsten Wage einen kaum bemerkbaren Gewichtsverlust zeigen, wie z. B. der Moschus (§. 10, 5).

Die Verdunstung, welche in ihrem Producte ganz identisch mit dem des Siedens ist, fällt bei Flüssigkeiten an sich um so stärker aus, je niedriger die Temperatur ihres Siedepunctes liegt, wird aber noch mehr befördert durch Temperaturerhöhung, durch Vergröfserung der Oberfläche, durch Trockenheit und geringe Dichte der Luft, so wie durch öfteren Luftwechsel, weshalb auch Verdünnung der Luft diesen Procefs vorzüglich befördert.

Die Menge der Wärme, welche Dünste bei ihrer Entstehung binden, ist genau eben so grofs als die, welche die Flüssigkeit bei ihrer Verwandlung in Dämpfe durch Sieden aufnimmt. Diese Wärme entzieht die Flüssigkeit während ihres Verdunstens theils sich selbst, theils den Körpern, welche mit ihr in Berührung stehen, wodurch sich dann die Temperatur beider erniedrigt. Diefs bewirkt nun eben so wie bei der Auflösung von Salzen (§. 407) eine Abkühlung, die um so bedeutender wird, je schneller

die Flüssigkeiten verdunsten können, und selbst die höc sten Kältegrade erzeugt.

Folgende Versuche sind eine Bestätigung des Vora gehenden.

Zweiter Versuch. Man umhülle die Kugel eines Therm meters mit Mouselin, Leinwand oder Baumwolle und tauche sie Alkohol, Schwefeläther oder Schwefelkohlenstoff. — Bald nachh wird sich zeigen, dafs, während die Hülle allmählig trocken wi also die von ihr eingesogene Flüssigkeit verdunstet, die Temper tur des Thermometers sich erniedrigt. — Das Sinken des Quec silbers erfolgt rascher, wenn man das Thermometer schnell in d Luft hin- und herbewegt oder mit einem Blasebalge dara bläst. — Bei Anwendung von Schwefeläther sinkt das Therm meter selbst im Sommer bald unter den Gefrierpunct, und m Schwefelkohlenstoff bringt man sie in kurzer Zeit von + 15,6° bis auf — 17,8° C.

Diese Wirkungen werden aber noch bedeutend übertroffe durch das Verdunsten tropfbar-flüssiger schwefeliger Säur Bussy hat damit das Quecksilber in der Thermometerkug an freier Luft zum Erstarren gebracht, und tröpfelt man d Säure vorsichtig auf Wasser, so erzeugt sie augenblicklich ei Hülle von Eis.

Dritter Versuch. Einige Tropfen Alkohol oder Schwe felather, auf die Oberhand getröpfelt, werden bei'm Bewege der Hand schnell verdunsten, und an den Stellen, wo dies er folgt, entsteht Empfindung von Kälte.

Auf dieser Wärmebindung verdunstender Flüssigkeiten be ruht auch das Kältegefühl, wenn man aus dem Bade steigt od wenn man vom Regen durchnäfst ist; ferner die künstliche Ei bildung zu Benares in Ostindien; die Abkühlung des Trink wassers mittels der sogenannten Alkarazas in Spanien und d des Weines auf Schiffen durch Umwickeln der Flaschen m einem nassen Tuche und Aufhängen derselben im Luftzug. Das Abkühlen der Geschützröhre durch das Auswischen des Wasser getauchten Wischers wird hauptsächlich durch d schnelle Verdunsten des Wassers herbeigeführt. — Wegen d durch die Verdunstung des Schweifses bewirkten Abkühlu war es den englischen Gelehrten Fordyce, Banks, Sola der und Blagden möglich, 8 Minuten lang in einem Zimm auszuhalten, wo das Thermometer + 101° R. zeigte. In d österreichischen Salinen arbeiten Menschen in den Salzdö kammern bei + 92° R. und bei Hohöfen in noch höheren Te peraturen, ohne dafs sich die des Körpers viel über seine n male Wärme erhöht.

Wendet man aber zur Beschleunigung der Verdunstung v dünnte Luft an und sorgt dabei zugleich dafür, dafs die si

bildenden Dünste sofort wieder von andern Körpern absorbirt werden, so lassen sich dadurch selbst im heifsen Sommer die höchsten Kältegrade hervorbringen. Dieſs kann man durch folgende Versuche nachweisen.

Vierter Versuch. Leslie's Verfahren, Wasser durch seine eigne Verdunstung zum Gefrieren zu bringen. — Wasser von + 20° Temperatur muſs dann durch sein Verdunsten 20 + 540 + 75 = 635° C. Wärme binden.

Der hierzu dienende Apparat wird auf folgende Weise zusammengesetzt: *aa* Fig. 248 ist ein etwa 5—6″ im Durchmesser haltendes Gefäſs von Porzellan oder Glas. Ueber dieses wird ein Dreifuſs von Messingdraht gestellt, dessen Füſse durch eine dünne Messingscheibe *bb* ungefähr vom Durchmesser des Gefäſses *aa* zusammengehalten werden. Auf diese drei Füſse kommt dann in einem Abstande von 2—3″ über dem Boden des darunter befindlichen Gefäſses eine Schale von schwachem Messingblech *cc* oder noch besser von ganz dünnem porosen Thon zu stehen. Diese Schale dient zur Aufnahme des in Eis zu verwandelnden Wassers, in das Gefäſs *aa* aber wird rauchende oder concentrirte Schwefelsäure gegossen, um das sich bildende Wassergas zu absorbiren, und das Ganze, nachdem es auf einen Teller der Luftpumpe gesetzt ist, wird mit einer möglichst niederen Campane *dd* bedeckt und die Luft unter dieser verdünnt. — Anfänglich entwickeln sich aus dem Wasser eine Menge Gasblasen, die immer gröfser und häufiger werden und von der im Wasser enthaltenen atmosphärischen Luft herrühren, während die Schwefelsäure das unter der Campane entstehende Wassergas absorbirt. Die Scheibe *bb* dient hier dazu, den Boden der Schale gegen das bisweilen eintretende Spritzen der Schwefelsäure zu schützen, welcher dadurch erhitzt werden würde. Erreicht endlich bei fortgesetztem Exantliren die Barometerprobe einen Stand von etwa 2‴ Par., so schieſsen auf der Oberfläche des Wassers Eisnadeln an, und erhält man durch Abschlieſsen des Tellers die Luft auf dieser Verdünnung, so gefriert das ganze Wasser aus.

Das Gelingen dieses Versuchs ist ein vorzüglicher Prüfstein einer guten Luftpumpe. Mit einer solchen, wie §. 193 beschrieben und Fig. 105 abgebildet ist, gelang es dem Verfasser zu wiederholten Malen selbst an heifsen Sommertagen, dafs nach 15 bis 20 Pumpenzügen das Beginnen der Eisbildung eintrat.

Wird die Campane, nachdem das ganze Wasser gefroren ist, vom Apparate abgenommen, so findet man, dafs sich die unter der Schale mit dem Eise in einem so geringen Abstande befindliche Schwefelsäure beträchtlich erhitzt hat. Es beweist dieſs also, dafs die Wärme, welche das sich bildende Wassergas dem Wasser entzog und wodurch letzteres zum Gefrieren

kam, an die Schwefelsäure als freie Wärme überg
diese die Wasserdünste verschluckte und sie wieder
Zustand zurückführte. — Läfst man dagegen das g
in dem luftverdünnten Raume der Campane stehen,
dert sich dasselbe durch fortwährende Verdunstu
schwindet nach einiger Zeit gänzlich.

Fünfter Versuch. Confiliachi's Verfahre
silber durch Verdunstung von Schwefelä
Gefrieren zu bringen. — Da Schwefeläther,
Dampf zu verwandeln (nach §. 409), 168° C. Wä
mufs, und flüssiges Quecksilber 87° C. latente Wä
(nach §. 407), so mufs, wenn beide Flüssigkeiten +
peratur haben, 168 + 87 + 20 = 255° C. Wärme geb
den, bevor das Quecksilber zum Gefrieren kommt.

Ein zur Anstellung dieses Versuchs geeigneter A
Fig. 249 dar. *Q* ist ein Quecksilber-, *W* ein Weing
meter mit völlig übereinstimmender Scala. Beide sin
Stative nahe neben einander befestigt, und unter
Fufs desselben kommt ein Glasnapf *aa* zu stehen, d
ungefähr 3″ Abstand von den Thermometerkugeln
werden am befsten mit einem dünnen Stück Was
oder auch mit Baumwolle umhüllt und damit in mög
ficirten Schwefeläther getaucht. In den Glasnapf
etwa ½ Zoll hoch rauchende Schwefelsäure, setzt d
auf den Teller der Luftpumpe und bedeckt ihn mit
lichst kleinen Campane *gg*. — So wie man mit dem
der unter der Campane befindlichen Luft anfängt, l
sich das Verdunsten des die Thermometerkugeln h
Schwefeläthers, und das entstandene Aethergas wird
der Schwefelsäure absorbirt. Während dessen be
ein schnelles Sinken der thermoskopischen Substanze
Thermometern, und sobald das Quecksilbertherm
Stand von — 40° C. erreicht, wo das Weingeis
ter ungefähr — 36° C. zeigt, zieht sich das Quech
bald die Kugel des Thermometers nicht weit von die
entfernt ist, plötzlich in diese hinein, indem bei de
tretenden Temperaturerniedrigung der Procefs des
vor sich geht. Dieser Zeitpunct beginnt, wenn die
probe ungefähr den Stand von 4‴ erreicht. — Bei fo
Evacuiren der Glocke kann man den Weingeistthern
auf — 45° C. zum Sinken bringen. — Hat man unte
pane aufser dem Quecksilberthermometer noch eine l
mometerröhre, deren Kugel nur zum Theil mit Quec
gefüllt und auf dieselbe Weise von einem mit Sch
getränkten Schwamm umhüllt ist, aufgehangen, so
nach der Abnahme der Glocke und sofortigen Entf

Schwammes von der Kugel das Quecksilber in demselben erstarrt. (Ueber diesen und den vorhergehenden Versuch siehe Gilbert's Annal. d. Phys. LXIII. 341. — Scholz's Lehrb. d. Chem. I. 210, u. d. Laboratorium Tab. III.)

Dieser Versuch bietet zugleich die Gelegenheit, eine andere interessante Erscheinung, über deren Ursache der folgende §. das Nöthige enthält, und zwar die Entstehung des Reifes nachzuweisen. Nimmt man nämlich von der Kugel des Quecksilber-Thermometers den Schwamm herunter, so bemerkt man, die Kugel gegen das Fenster haltend, dafs um diese in der Luft leichte Nebel entstehen. Kurze Zeit darauf bildet sich auf jener ein dünner weifser Niederschlag, der nach und nach dicker wird und zuletzt krystallinisch erscheint. Es ist diefs Reif, der sich durch das Gefrieren des Wassergases der Atmosphäre, welche die Kugel umgiebt, bildet und auf dieser niederschlägt. Der Reif umhüllt die Kugel so lange, bis das Quecksilber im Thermometer den Aufthau- oder Nullpunct erreicht, dann aber verschwindet er plötzlich auf der ganzen Oberfläche.

Sechster Versuch. Der Kryophorus ist ein von Wollaston angegebenes sehr einfaches Instrument, mit welchem Wasser ebenfalls durch seine Verdunstung zum Gefrieren kommt. — Es besteht dasselbe aus einer etwa $\frac{1}{4}$ Zoll weiten 12—24 Zoll langen Glasröhre, deren beide nach einer Seite rechtwinkelig umgebogenen Enden zwei etwa 1—2 Zoll grofse Glaskugeln enthalten Die eine dieser Kugeln ist ungefähr bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt, der übrige Raum aber luftleer. Senkt man nun die leere Kugel in eine Frostmischung (§. 407), so gefriert das Wasser in der andern. — Die in der Frostmischung befindliche Kugel ist nämlich mit Wassergas erfüllt, welches schnell condensirt wird, und indem sich eben so schnell zufolge des luftleeren Raumes neues bildet, wird dem Wasser in der andern Kugel so viel Wärme entzogen, dafs dieses gefriert. — Statt der Frostmischung wendete Marcet Schwefeläther oder Schwefelkohlenstoff an, womit er die einige Male mit Baumwollenzeug umhüllte leere Glaskugel benetzte und zur Beschleunigung des Verdampfens Luft mit einem Blasebalg zuführte. Der Versuch gelingt noch besser und schneller, wenn sich die zu erkaltende Kugel in einer Campane befindet, aus welcher die Luft gepumpt wird. Fig. 250 stellt einen hierzu dienlichen einfachen Apparat vor; *aa* ist ein gewöhnliches Pulverglas mit hinlänglich weiter Oeffnung *b*, von welchem der Boden abgesprengt ist und die Ränder eben geschliffen sind. In dem Hals *b* dieses kleinen Recipienten wird nun die Röhre des Kryophorus so eingekittet, dafs dessen leere, mit baumwollenem Zeuge umhüllte und mit Schwefeläther getränkte Kugel *c* ungefähr in dessen Mitte zu stehen kommt, während die andere

Kugel, welche das Wasser enthält, sich aufserhalb desselb befindet. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. V. 1022 u. X. 67

§. 411.

Wenn Dämpfe oder Dünste mit kälteren Körpern Berührung kommen, so entziehen ihnen diese die nöth Wärme, um luftförmig zu bleiben, und es kehren je in ihre frühere Aggregatform zurück. Während der hi bei eintretenden Verdichtung oder Condensirung wi die ganze Wärme wieder frei, welche vorher die G form des Stoffes erzeugt hatte.

Versuch. Ueber ein Gefäfs mit siedendem Wasser ha man eine kalte Glas- oder Metalltafel. — Die aufsteigend Dämpfe condensiren sich an diesen kalten Körpern zu Tropfe während sich dieselben dabei erwärmen.

Das §. 409 beschriebene Verfahren, durch welches man d latente Wärme der Dämpfe ermittelt hat, beruht ebenfalls a dem Freiwerden dieser Wärme durch Condensation der Dämp

Die Umwandlung tropfbarer Flüssigkeiten oder auch st rer Körper in Dämpfe und ihre Rückkehr in die frühere Aggr gatform wird in der Chemie und Technik zu zwei wichtig Zwecken angewendet, nämlich zur Destillation, wo m tropfbare Flüssigkeiten in Dämpfe verwandelt und diese dur Abkühlung wieder in tropfbar-flüssiger Gestalt gewinnt, u zur Sublimation, wo man starre Körper durch Wärme ve flüchtigt und die Dämpfe in kalten Räumen zum sogenannt Sublimat wieder verdichtet. Beide Operationen benutzt ma theils um verschiedenartige Körper mit einander zu verbinde theils um sie von einander zu trennen. Das Detail hierüb gehört in das Gebiet der Chemie. (Vergl. hiermit noch §. 8

Eben so beruhen hierauf manche Naturerscheinungen, der vollständige Erklärung aber der Atmosphärologie angehö nämlich die verschiedenen wässerigen Meteore oder Hy drometeore, als die Entstehung des Nebels, der Wolken, d Regens, des Schnees und Hagels, so wie des Thaues und Re fes. (S. Baumgartner's Naturl. das Capitel über Wasse meteore, so wie dasselbe Capitel in Neumann's Handb. Phys. II. 665; aufserdem aber auch diese einzelnen Artikel Gehler's und Marbach's phys. Wrtb.) — Auch das A laufen und Gefrieren der Fensterscheiben ist eine Folge des si an diesen aus der Luft condensirenden Wassergases.

VI. Von den Dämpfen und Dünsten in Bezug auf ihre besondern Eigenschaften gegen die permanenten Gase.

§. 412.

Ihrer allgemeinen physischen Beschaffenheit nach sind **Dämpfe** und **Dünste** gleicher Natur und unterscheiden sich nach dem, was über sie schon im Vorhergehenden angeführt wurde, nur in der Art ihrer Entstehung. In beiden Fällen treten sie als ein Product materieller Atome starrer oder liquider Körper und der sie expandirenden oder absorbirenden Wärme auf, ohne dafs dadurch die chemische Beschaffenheit des Körperstoffes selbst geändert wird. Speciell verschieden, sowohl in physischer als chemischer Beziehung, sind aber diese gasigen Fluidas nach den Körpern, aus welchen sie durch die Verbindung mit der Wärme hervorgingen; man spricht daher von Wasserdampf, Alkoholdampf, Aetherdampf, Quecksilberdampf, Schwefeldampf u. s. w. Unter allen diesen spielt aber, sowohl in der Natur als auch in der Technik, der Wasserdampf oder das Wassergas die wichtigste Rolle, weshalb in dem Folgenden vorzugsweise nur von diesem die Haupteigenschaften und daraus entspringenden Erscheinungen erklärt werden sollen.

Schon früher (§. 184) wurde vorläufig erwähnt, dafs diese gasigen Fluidas in mehren Stücken mit den permanenten Gasen übereinstimmen, in andern dagegen sich auch wesentlich von ihnen unterscheiden. Ihre hauptsächlichste Verschiedenheit, worüber das Nähere weiter unten noch angeführt werden wird, besteht darin, dafs sie sowohl durch Temperaturerniedrigung als auch durch Druck in die Aggregatform wieder zurückkehren, aus der sie entstanden, während diefs bei den permanenten Gasen nicht der Fall ist.

§. 413.

In einem abgeschlossenen Raume kann sich, so lange die Temperatur dieselbe bleibt, stets nur eine gewisse Menge Dampf bilden. Ist er mit diesem völlig angefüllt, so hört auch die fernere Verdampfung der noch vorhandenen Flüssigkeit auf, so lange die Temperatur nicht erhöht wird. Man sagt dann von diesem Raume, er sei mit Dampf gesättigt, und nennt Dampf unter solchen Umständen **gesättigten Dampf** oder Dampf vom **Maximo der Dichtheit**.

In der Technik werden die Dämpfe gewöhnlich nur in ihrem Sättigungszustande angewendet, weshalb auch z. B. in Dampfkesseln und Digestoren immer das hinlängliche Wasser vorhanden sein mufs, um den Raum im Sättigungszustande zu erhalten. Das in der Atmosphäre stets vorhandene Wassergas befindet sich, aufser bei dichtem Nebel und Regen, fast nie im Zustande der Sättigung. Im Allgemeinen kann man aber annehmen, dafs, wenn sich in einem abgesperrten Raume ein verdampfbarer Körper befindet, jener auch immer mit gesättigtem Dampfe des letztern erfüllt sein wird.

§. 414.

Die **Dichtheit** des gesättigten Dampfes ist für jede Temperatur verschieden. Steigt die Temperatur, so verdampft mehr von der Flüssigkeit, es vermehrt sich dadurch die Dampfmenge und auch die Dichtheit. Sinkt die Temperatur, so verwandelt sich ein Theil der Dämpfe wieder in tropfbare Flüssigkeit, die Dampfmenge vermindert sich also und zugleich auch ihre Dichtheit.

Die relative Dichtheit oder das specifische Gewicht der Wasserdämpfe hat man durch Versuche ermittelt und gefunden, dafs das Verhältnifs der Dichtheit jedes gesättigten Dampfes zur Dichtheit der atmosphärischen Luft, wenn beide unter gleichem Drucke und gleicher Temperatur angenommen werden, eine constante Gröfse ist. Unter diesen Voraussetzungen beträgt nach **Gay-Lussac's Bestimmungen** die Dichtheit des Wasserdampfes stets 0,6235 von

r der atmosphärischen Luft, wofür man gewöhnlich das rhältnifs von 10 : 16 oder $\frac{5}{8}$ annimmt. Auf die Dichtheit s Wassers bezogen, ergiebt sich aber, dafs Wasserdampf i 100° C. ungefähr $\frac{1}{1700}$ (genauer $\frac{1}{1853}$) mal so dicht dieses ist, oder dafs der Dampf bei dieser Temperatur en 1700mal gröfsern Raum einnimmt als das dazu verndete Wasser, d. h. aus 1 Cubikfufs Wasser (von gröfs- Dichtheit §. 381) erhält man 1700 Cub. F. Wassergas n 100° C. — Tab. XIX enthält in ihrer letzten Spalte e nach dem Gay-Lussac'schen Verhältnifs berechneten ichtheiten des Wasserdampfes bei verschiedenen Temraturen.

Da sich bei gleichem Rauminhalte die Gewichte der Körper wie ihre Dichtheiten verhalten, so läfst sich auch leicht aus der bekannten oder gesuchten Dichtheit des Wasserdampfes das Gewicht desselben berechnen. Ist z. B. x das Gewicht von 1 Cub. F. atmosphärischer Luft bei 0° und 28 Zoll Barometerstand, so beträgt dasselbe (nach §. 382) bei t° C. $\frac{x}{1 + 0{,}00366\,t}$, mithin das des Dampfes $\frac{5}{8} \cdot \frac{x}{1 + 0{,}00366\,t}$ oder $\frac{0{,}6235\,x}{1 + 0{,}00366\,t}$ — 1 Cub. F. Dampf nach k. sächs. Mafs, wie er bei'm Sieden des Wassers entsteht, also von 100° C. würde daher, da ein solcher Cub. F. Luft bei 0° und 28 Zoll Barometerstand (nach Tab. III) 2,02 sächs. Loth wiegt, ein Gewicht von $\frac{0{,}6235 \cdot 2{,}02}{1 + 0{,}00366 \cdot 100}$ oder 0,92 Loth haben.

§. 415.

Dämpfe als gasförmige Flüssigkeiten besitzen eben so ie diese das Bestreben, sich nach allen Richtungen ausdehnen, oder sie haben eben so wie die permanenten Gase xpansivkraft.

Diese Expansivkraft, die man bei den Dämpfen gehnlich Spannkraft, Tension oder auch Elasticit nennt, ist nicht allein von ihrer Dichtheit abhängig, ndern nimmt auch mit der Temperaturerhöhung zu.

Bei gleicher Temperatur steht die Spannkraft im geraden Verhältnifs seiner Dichtheit, d. h. ein gewisses Dampfquantum wird nur die Hälfte, den dritten, vierten oder $n$ten Theil der Spannkraft äufsern, wenn es mit Beibehaltung seiner Temperatur den doppelten, dreifachen, vierfachen oder $n$fachen Raum einnimmt.

Bei gleichbleibender Dichtheit aber wächst die Spannkraft mit der Erhöhung der Temperatur, und zwar dehnen sich Dämpfe durch die Wärme nach demselben Gesetze und um gleiche Gröfse wie die bleibenden Gase aus, nämlich bei jedem hunderttheiligen Grad der Wärmezunahme um $\frac{11}{3000}$ oder 0,00366 des Volumens (§. 382).

Wenn daher E die Spannkraft bei 0°, E^t die bei t° C. ausdrückt, so ist $E^t = E\,(1 + \frac{11}{3000})$ oder $E\,(1 + 0{,}00366\,t)$.

Wenn sich aber mit der Temperatur zugleich auch die Dichtheit der Dämpfe vergröfsert, was dann eintritt, wenn in dem verschlossenen Dampfraume auch noch eine hinlängliche Menge verdampfbarer Flüssigkeit vorhanden ist, so wächst die Spannkraft nicht allein durch die ausdehnende Wirkung der Wärme, sondern auch durch die Steigerung der Dampfdichtheit, und die Zunahme mufs defshalb begreiflicher Weise in einem gröfseren Verhältnisse eintreten, als die Temperatur steigt. Im Sättigungszustande stimmt die Temperatur des Dampfes, so lange er nicht durch äufsere Einwirkung abgekühlt wird, immer mit der Temperatur der Flüssigkeit überein, aus der er sich entbindet, so dafs z. B. ein Thermometer gleich hoch steht, man mag ihn in die Flüssigkeit oder in den sich daraus bildenden Dampf eintauchen. Kennt man daher die Temperatur der Flüssigkeit, so läfst sich danach die Spannkraft der sich bildenden Dämpfe bestimmen. Das Gesetz aber, nach welchem die Spannkraft gesättigter Dämpfe mit der Temperatur wächst, ist noch nicht genau bekannt, und alle bisher zur Darstellung desselben aufgestellte Formeln ent-

sprechen der Erfahrung immer nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen.

§. 416.

Dämpfe, die sich bei'm Sieden einer Flüssigkeit an freier Luft bilden, müssen (nach §. 409) eine Expansivkraft besitzen, die den auf ihrer Oberfläche vorhandenen Atmosphärendruck zu überwinden vermag. Bei einem gröfseren als dem gewöhnlichen Atmosphärendrucke müssen deshalb die Dämpfe erst eine gröfsere Spannkraft annehmen, bevor das Sieden der Flüssigkeit beginnen kann. Diese gröfsere Spannkraft aber erhalten sie nach vorigem §. mit der Steigerung der Temperatur; daher rückt auch bei gröfserem Drucke die Temperatur des Siedepunctes höher hinauf.

Das, was an freier Luft ein erhöhter Atmosphärendruck bewirkt, bewirkt in abgeschlossenen Räumen der schon vorhandene Dampf, und da die in einem solchen Raume befindlichen Dämpfe nach vorigem §. durch die wachsende Temperatur sowohl an Dichte als auch an Expansivkraft zunehmen, so steigt auch in diesem Verhältnisse der Siedepunct immer höher. Die Siedehitze einer Flüssigkeit kann auf diese Weise nach Willkühr erhöht und dadurch eben so die Spannkraft der Dämpfe gesteigert werden.

Versuch. Man fülle eine sogenannte Florentiner Flasche oder einen dünnen Glaskolben etwa bis zur Hälfte mit Wasser oder schwachem Spiritus und lasse die Flüssigkeit über einer Spirituslampe einige Minuten recht lebhaft kochen. Jetzt verschliefse man den Hals so schnell als möglich luftdicht. — Ueber dem Wasser befindet sich dann blofs Wasserdampf, und die Flüssigkeit wird aufhören zu sieden, wenn man sie von der Lampe entfernt. Wendet man nun den Kolben um, so dafs der Verschluss nach unten kommt, und gieſst man kaltes Wasser auf die Oberfläche desselben, unter welcher sich der Dampf befindet, oder benetzt dieselbe mit Schwefeläther, so wird die Expansivkraft der Dämpfe, so wie der Druck auf die Flüssigkeit vermindert, und diese fängt wieder an zu sieden. Gieſst man dagegen wieder heifses Wasser auf die Kolbenfläche, so ver-

mehrt sich die Spannkraft der Dämpfe von Neuem, ihr Druck gegen die Flüssigkeit erhöht sich, und es hört dieselbe wieder auf zu sieden.

§. 417.

Den Druck, welchen Dämpfe zufolge der ihnen nach Verhältnifs der Dichtheit und Temperatur zukommenden Spannkraft ausüben, bestimmt man praktisch auf verschiedene Weise, nämlich entweder eben so wie bei der atmosphärischen Luft nach der Höhe der Quecksilbersäule, die ihm das Gleichgewicht hält, und man drückt diefs Verhältnifs wohl auch nach Atmosphärendruck (§. 198) aus, oder man giebt ihn in Gewichten an, welche der Dampf zu heben vermag, wenn er auf ein sogenanntes Ventil, auf eine bewegliche Fläche von bestimmter Gröfse, wirkt, während dieses mit einem Gewichte beschwert wird.

Die Wichtigkeit, diesen Druck bei den verschiedenen Temperaturen, sowohl für wissenschaftliche als technische Zwecke kennen zu lernen, hat mehre der gröfsten Physiker unserer Zeit veranlafst, genaue Versuche darüber anzustellen. Von den verschiedenen Wegen, die man eingeschlagen, um zu genauen Resultaten hierüber zu gelangen, kann hier nur in der Kürze und im Allgemeinen das Wichtigste angeführt werden, wogegen man weiter unten die Schriften angeführt findet, in welchen diefs ausführlicher abgehandelt wird.

Zur Ermittelung der Spannkraft der Dünste oder Dämpfe unter der Siedehitze bediente sich Dalton der Toricelli'schen Röhre und zwar auf folgende Weise. Ein solches Rohr *ab* Fig. 251 füllt man fast ganz mit Quecksilber, den übrigen Raum aber mit der Flüssigkeit an, deren Dämpfe man untersuchen will, verschliefst jetzt das offene Ende mit dem Finger, kehrt die Röhre um und bringt die Oeffnung wie bei'm Toricelli'schen Versuche in ein Gefäfs *A* mit Quecksilber (wozu bei dieser Untersuchung auch ein niederes Gefäfs angewendet werden kann). Das Quecksilber in der Toricelli'schen Röhre sinkt aus schon bekannten Ursachen, und die leichtere Flüssigkeit steigt nach hydrostatischen Gesetzen zur Oberfläche des Quecksilbers hinauf. Dadurch kommt sie in den über dem Quecksilber befindlichen luftleeren Raum, wo sie augenblicklich verdunstet und das Vacuum mit ihren Dämpfen im Maximo der Dichtheit *erfüllt*. Vergleicht man jetzt die Höhe der Quecksilbersäule in

der Toricelli'schen Röhre mit dem eben stattfindenden Barometerstande, so wird man dieselbe in Folge der auf sie drückenden Dämpfe niedriger finden als diesen. Der Unterschied der beiden Quecksilberhöhen ist das Maſs für die Spannkraft der Dämpfe bei der eben stattfindenden Temperatur. — Wäre z. B. der Barometerstand 28″ Par. und die Höhe der Quecksilbersäule in der Toricelli'schen Röhre 27″ Par., so würde die Spannkraft 1″ Par. Quecksilberhöhe das Gleichgewicht halten, und man sagt dann: die Spannkraft der Dämpfe beträgt 1″ Quecksilberhöhe. — Um aber ihre Expansivkraft für verschiedene Temperaturen zu ermitteln, umgiebt man den obern Theil der Toricelli'schen Röhre mit einer weiteren Glasröhre *C* Fig. 252, die unten mit einem Kork verschlossen ist, durch welchen jene durchgesteckt wird, und füllt das weitere Rohr, in welches zugleich ein Thermometer gebracht wird, mit Wasser von verschiedenen Temperaturen. Ist das Wasser wärmer als die Luft, so wird das Quecksilber noch mehr sinken; ist es kälter, so wird es steigen, und dann läſst sich eben so aus der Differenz der Quecksilberhöhen gegen den Barometerstand die diesen Temperaturen entsprechende Spannkraft der Dämpfe berechnen.

Auch durch Hilfe der Luftpumpe kann man die Spannkraft der Dünste auf ganz einfache Weise ermitteln, wobei die erhaltenen Resultate ziemlich genau mit den nach dem Dalton'schen Verfahren sich ergebenden übereinstimmen. Diese Untersuchung wird auf folgende Weise vorgenommen:

Versuch. Man bringe eine etwa bis zur Hälfte mit mehr oder weniger warmem Wasser oder einer andern Flüssigkeit gefüllte Flasche, worein ein Thermometer gesenkt ist, unter den Recipienten der Luftpumpe und verdünne nun langsam die Luft so lange, bis die Flüssigkeit anfängt zu sieden. Der in diesem Augenblicke erreichte Stand der Barometerprobe (§. 205) giebt für die Temperatur, welche das in der Flüssigkeit stehende Thermometer anzeigt, die Spannkraft der im Maximo ihrer Dichte befindlichen Dämpfe an.

Zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe über der Siedehitze ihrer Flüssigkeit dienen die schon §. 205 beschriebenen und Fig. 131 und 132 Tab. IV dargestellten Manometer, wovon bei ersterem der Druck der Dämpfe unmittelbar durch die Quecksilberhöhe im Manometerrohre angegeben, bei letzterem aber, welches bei sehr hohen Spannkräften der Dämpfe mit Vortheil anzuwenden ist, nach dem Mariotte'schen Gesetze (§. 202) bestimmt und an der Scala des Manometers nach Atmosphärendruck angezeigt wird.

Die zur Ermittelung des Dampfdrucks nach Gewicht dienenden Dampfventile erhalten meist folgende Einrichtung. In der Decke des Dampfbehälters Fig. 261, von welchem die

Spannkraft der sich darin bildenden Dämpfe gemessen werden soll, ist bei T ein nach aufsen zu sich öffnendes Kegelventil, ein konischer in eine Oeffnung von bestimmter Gröfse eingeschliffener Metallkörper V angebracht. Dieses Ventil steht mit einem einarmigen Hebel *cab* in Verbindung, und zwar wird dasselbe vom kurzen Hebelarme *ca* aus durch eine bei *a* angebrachte bewegliche Metallstange *av* mittels des am langen Hebelarme *cb* verschiebbaren Gewichtes *g* in seine Oeffnung gedrückt. — In gröfserm Mafsstabe stellt ein solches Ventil die Fig. 261a dar. — Sobald der Dampf eine Spannkraft erreicht, welche auf der untern Ventilfläche mehr beträgt als der durch den Hebel ausgeübte Druck, so wird das Ventil von ihm gehoben, der Dampf entweicht durch die entstehende Oeffnung, und der Druck, den derselbe ausgeübt hatte, bestimmt sich durch das am langen Hebelarme angebrachte Gewicht. Gesetzt, die untere Ventilfläche betrage 1 preufs. Quad. Zoll, das Gewicht *g* drücke dieselbe mit 15 Pfd. Preufs. nieder, so wird der Druck der Dämpfe auf 1 Quad. Z. 30 Pfd. Preufs. erreichen müssen, ehe das Ventil gehoben werden kann, weil zugleich auch der 15 Pfd. betragende Atmosphärendruck auf diese Fläche überwunden werden mufs. (Vergl. Tab. III.)

Auf theoretischem Wege ist es bis jetzt noch nicht gelungen, das Gesetz genau zu ermitteln, nach welchem unter allen Temperaturen die Expansivkraft des Wasserdampfes zunimmt, und man hat sich deshalb begnügen müssen, aus den Resultaten der besten Versuche empirische Formeln abzuleiten. Unter diesen giebt es nur wenige, die sich auf alle bisher angestellten Beobachtungen anwenden lassen, denn meist sind die für höhere Temperaturen entwickelten nicht anwendbar auf die niedrigeren und umgekehrt. Eine Zusammenstellung dieser verschiedenen Formeln findet man im Repertorium der Physik von Dove u. Moser I. 48, und in Marbach's phys. Lex. I. 453.

Die im Anhange befindliche XVIII. Tabelle giebt die Spannkräfte des Wassergases für Temperaturen von — 50° R. bis 0° an, wie sie sich aus folgender von Mayer aufgestellten Formel ergeben:

$$lg : E = 4{,}2860 + lg\ (213 + t) - \frac{1551{,}09}{213 + t},$$

in welcher E die Spannkraft des Dunstes nach Par. Zollen und t die Temperatur in R° ausdrückt.

Die XIX. Tabelle, welche die Spannkraft der Wasserdämpfe von 0° bis 100° C. enthält, ist von Arzberger, wobei dieser die von ihm 1818 angestellten sehr genauen Versuche zu Grunde gelegt und danach folgende Formel für die Berechnung derselben abgeleitet hat:

$$lg.\ E = lg.\ (213 + t) + 2{,}8435 - \frac{847{,}3}{140 + t},$$

worin E die Elasticität des Dampfes in Wien. Z. Quecksilberhöhe bezeichnet, welche der Réaumur'schen Temperatur zugehört. In der sechsten Spalte ist die Anzahl der Cubik-Fufse Wasserdampf von der zugehörigen Temperatur beigefügt, welche aus 1 Pfd. Wasser von mittler Temperatur gebildet werden, wobei das Gewicht eines Wien. Cub. F. Wasser von dieser Temperatur zu 56,3 Wien. Pfd. angenommen ist. Die siebente Spalte enthält die Dichtheit des Dampfes gegen Wasser von dieser Temperatur, wobei die Dichtheit des Wassers als 1 gilt. Diese Zahlen werden erhalten, wenn man die Anzahl der Cub. Fufse der sechsten Spalte mit 56,3 multiplicirt und mit diesem Producte 1 dividirt.

Die XX. Tabelle enthält die besonders für die Praxis der Dampfmaschinen in Anwendung vorkommenden Spannkräfte der Wasserdämpfe von 1 bis 10 Atmosphären, wie sie durch die neueren Versuche einer besondern Commission der Academie der Wissenschaften in Paris, deren Mitglieder Arago, Dulong, Girard und Prony waren, (bis zu einem Druck von 24 Atmosphären gehend) festgestellt worden sind. Sie lassen sich von 5 Atmosphären bis zu 50 Atmosphären nach folgender Formel berechnen:

$$t = \frac{\sqrt[5]{e} - 1}{0{,}7153},$$

wo e die Elasticität in Atmosphären bezeichnet und t die Temperatur + 100° C. mit Annahme des Intervalls von 100° C. als Einheit.

Die dieser Tabelle angehangene XXI. Tabelle enthält die nach derselben Formel bestimmten Werthe von 11 Atmosphären an blofs nach französischem Mafs, weil so hohe Druckkräfte in der Praxis nur wenig Anwendung finden.

Endlich wurde noch die XXII. Tabelle dem Fischer'schen Lehrb. d. mechan. Naturl. 4te Aufl. I. 597 entlehnt. Sie enthält die Werthe der Expansivkräfte gesättigter Wasserdämpfe von 0° bis 219° C. in Atmosphären ausgedrückt und ist nach der von Prof. August entwickelten Formel (s. daselbst S. 595)

$$e = \left[\frac{6415\,(1028{,}4 + t)}{1000.000000}\right]^{\frac{100 - t}{100 + \frac{1}{2}t}}$$ für Centesimalgrade und

$$e = \left[\frac{8019\,(826{,}7 + t)}{1000.000000}\right]^{\frac{80 - t}{80 - \frac{1}{2}t}}$$ für Octogesimalgrade

berechnet worden, worin e den Werth der Expansivkraft nach Atmosphären, t die Temperatur ausdrückt. Um diese Spannungswerthe in Quecksilberhöhen nach irgend einem Barometerstande anzugeben, ist es nur nöthig, dieselben mit demjenigen Barometerstande zu multipliciren, der bei der Bestimmung des Siedepunctes des Thermometers zu Grunde gelegt wurde, nämlich für metrisches Mafs mit 0,76^{m} oder mit 760^{mm}, für Pariser Mafs

mit 28″ oder 336‴, für englisches Mafs mit 30″ oder 360‴, für Wiener Mafs mit 28,774″ oder 345,3‴, für preufsisches Mafs mit 28,08″ oder 29″ = 348‴ und für Dresdener Mafs mit 32,11″ oder 385,3‴.

§. 418.

Aus den bis hierher erklärten Gesetzen und Erscheinungen der Dämpfe läfst sich nun auch ermitteln, in wie weit diese mit den beharrlichen Gasen gleiche Eigenschaften zeigen, welche Unterschiede aber auch gegen letztere vorhanden sind.

Wir wollen zunächst die Wirkung des Drucks bei Vergröfserung oder Verkleinerung des Raums in Erwägung ziehen.

Eine Luftmasse läfst sich nämlich ohne Aenderung ihrer Aggregatform in jeden gröfsern Raum ausdehnen und in jeden kleineren Raum zusammendrücken. Im ersteren Falle vermindert sich ihre Dichte und Expansivkraft, im letzteren vermehrt sich beides in umgekehrtem Verhältnifs der Raumesänderung.

Eine abgeschlossene Dampfmasse kann zwar, eben so wie jedes permanente Gas durch Erweiterung des Raums, oder durch Verminderung des Drucks jeden Grad der Verdünnung annehmen; bei der Verdichtung derselben sowohl durch Verkleinerung des Raumes als durch Vermehrung des Druckes aber zeigt sich ein gleiches Verhalten nur bis zu dem Puncte, wo der Dampf das Maximum seiner Dichtheit annimmt, welches der vorhandenen Temperatur entspricht. Sobald man aber einer Dunst- oder Dampfmasse durch Zusammenpressung oder Verkleinerung ihres Raumes die gröfste Dichtheit gegeben hat, die ihrer Temperatur zukommt, so bewirkt die geringste Vermehrung des Drucks oder die Verkleinerung ihres Raumes eine theilweise Verwandlung derselben in den tropfbar-flüssigen Zustand.

Drückt man die in dem vorigen §. zu dem Dalton'schen Versuche gebrauchte Toricelli'sche Röhre tiefer in das Quecksilbergefäfs hinab, so wird der über der Quecksilbersäule mit den Dämpfen der zum Versuche dienenden Flüssigkeit erfüllte Raum verkleinert, und da sich dieser Dampf im Maximo seiner Dichtheit befindet, so kehrt so viel davon in seinen tropfbaren Zustand zurück, als sich der Rauminhalt des Dampfes vermindert, was sich auch an der Zunahme der über der Quecksilbersäule befindlichen Flüssigkeit zeigt, während die Höhe dieser unverändert bleibt. Wäre dagegen wie bei dem Mariotte'schen Versuche (§. 202) über dem Quecksilber Luft, so würde sich bei'm Niederdrücken der Röhre die Quecksilbersäule vermindern. Fährt man mit dem Eintauchen der Toricelli'schen Röhre so lange fort, bis das Quecksilber das verschlossene Ende derselben erreicht, so verschwindet der sämmtliche Dampf und verwandelt sich in tropfbare Flüssigkeit.

Folgendes Beispiel mag dazu dienen, das eben Erklärte noch deutlicher zu machen. Stellt man sich eine Dampfmasse von 100° C. Wärme vor, die sich aber in einem so grofsen Raume verbreitet befindet, dafs sie nur noch die Hälfte, nämlich 0,5 Atmosphäre, ihrer gröfsten Expansivkraft besitzt, so wird sich diese bei Verminderung des Drucks oder Erweiterung des Raumes in allen Verhältnissen wie Luft verdünnen lassen. Drückt man aber dieselbe zusammen, so läfst sich dieselbe nur so lange verdichten, bis sie die Expansivkraft von 1 Atmosphäre erreicht, welche ihr Maximum bei 100° C. ist. Fährt man dann fort, den vorhandenen Dampf noch mehr, z. B. noch einmal auf die Hälfte seines Raumes zu comprimiren, so verwandelt sich die eine Hälfte in tropfbar-flüssigen Zustand, während die andere Hälfte im Maximo der Expansivkraft von 1 Atmosphäre verbleibt. Ein stetig fortwirkender und sich vermehrender Druck kann auf diese Weise allen vorhandenen Dampf in tropfbare Flüssigkeit verwandeln.

§. 419.

Auch gegen die Wärme verhalten sich die Gase und Dämpfe nicht ganz auf gleiche Weise.

Jedes eingeschlossene Gas kann nämlich durch Erhöhung seiner Temperatur eine seinem Ausdehnungs-Coefficienten entsprechende höhere Expansivkraft (§. 382, 383), bei Erniedrigung der Temperatur aber eine in gleichem Verhältnifs geringere Ausdehnkraft annehmen, ohne dafs man bis jetzt dafür eine Grenze kennt.

Bei einer im Maximo ihrer Dichtheit befindlichen abgesperrten Dampfmasse findet ein gleiches Verhalten statt sobald die Temperatur derselben erhöht wird, wogegen bei Abkühlung des Dampfes derselbe zwar auch jeden niedrigen Grad von Spannkraft annimmt, jedoch nur dadurch dafs immer ein entsprechender Theil der Dampfmenge wieder tropfbar wird.

Angenommen, es sei ein gewisser abgesperrter Raum mit Wasserdampf von 100° C. angefüllt, so beträgt dessen Spannkraft im Maximo seiner Dichtheit 28″ Par. oder 1 Atmosphäre. Erkältet man denselben aber bis auf + 82° C., wo dann das Maximum seiner Spannkraft bis auf ungefähr ½ Atmosphäre herabsinkt (vergleiche Tab. XIX), so hat sich dann so viel Dampf zu Wasser condensirt, dafs der noch übrig bleibende, in dem vorhandenen Raume gleichmäfsig verbreitete, nur noch 0,5 Atmosphäre Expansivkraft behält. Auf gleiche Weise schreitet bei fortgesetzter Erkältung der noch verbleibenden Dampfmasse die Condensation derselben fort, so dafs bei 0° ihre Spannkraft nur noch 0,128″ Par. Quecksilberhöhe oder ungefähr 0,005 Atmosphäre beträgt. — Würde aber dieselbe Dampfmasse, statt abgekühlt zu werden, noch mehr erhitzt, steigerte man ihre Temperatur z. B von + 100° C. bis zu + 121° C., so würde sich dann ihre Spannkraft (nach §. 414) in dem Verhältnifs:

$$1 + (100 . 0{,}00366) : 1 + (121 . 0{,}00366) = 1365 : 1442 = 1 : 1{,}06$$

erhöhen. Hiernach hätte sich also bei der Temperaturzunahme von 21° C. ihre Spannkraft nur um 0,06 Atmosphäre vermehrt, während diese für Dämpfe im Maximo seiner Dichtheit bei + 121° C. (nach Tab. XX) schon 2 Atmosphären betragen würde. Man könnte deshalb diesen Dampf auch ohne eintretende Condensation abkühlen, aber offenbar nicht weiter als bis 100° C., wo er dann das Maximum seiner Dichtheit erreicht.

§. 420.

Aus Versuchen von Dalton hat sich das merkwürdige Resultat ergeben, dafs in einem mit irgend einem Gase erfüllten Raume von einer verdunstbaren Flüssigkeit eben so viel verdunstet, als wenn der Raum ganz leer wäre; blos der Unterschied zeigt sich dabei, dafs sich im lufterfüllten Raume die zur Sättigung erforderliche Dampfmenge nur allmälig und zwar um so langsamer entwickelt,

je mehr sie sich dem Maximo ihrer Dichtheit nähert, wogegen im luftleeren Raume dieſs fast augenblicklich geschieht. Eine solche mit Dampf oder Dunst gemengte Luft besitzt aber dann eine Spannkraft, welche der Summe der Expansivkräfte beider gasigen Flüssigkeiten für die vorhandene Temperatur entsprechend ist. (Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. 398.)

§. 421

Jeder an der freien Luft sich bildende Dampf oder Dunst entweicht aus der Flüssigkeit in dem der Temperatur entsprechenden Sättigungszustande und ist deshalb nahe an der Oberfläche derselben im Maximo seiner Dichtheit vorhanden. Da sich aber unter diesen Umständen die entstehenden Dämpfe frei ausbreiten können, so hört der Sättigungszustand in einiger Entfernung von der Oberfläche auf. Kommt aber die die Oberfläche des verdunstenden Körpers berührende Luftschicht auf eine so niedere Temperatur, dafs in ihr das Wassergas das Maximum seiner Dichtheit annimmt, so tritt ein Stillstand der Verdunstung ein. Eine weitere Temperaturerniedrigung bewirkt dann in dieser Luftschicht die Umwandlung des Wassergases zur tropfbaren Flüssigkeit und erzeugt dadurch mehre der §411 erwähnten wässerigen Meteore.

Hieraus ergiebt sich zugleich, dafs der Gehalt der Atmosphäre an Wassergas hauptsächlich von der Temperatur derselben bedingt wird, und da diese nicht überall gleich ist, auch für denselben Ort der Erde nicht überall gleich bleibt, so ist es auch einleuchtend, dafs die Atmosphäre nicht überall und auch über demselben Orte der Erde nicht immer gleich viel mit Dünsten beladen sein kann.

Eine vollständige Zusammenstellung der früheren Untersuchungen über Dämpfe und Dünste findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. 279—405, so wie auch in Marbach's phys. Lex. I. 426—490. Spätere Untersuchungen darüber ent-

halten noch Kämtz's Lehrb. d. Meteorl. I. 289; Fechner Repert. d. Phys. I. 173; ferner Poggendorf's Annal. u. zw XXIII von Dove 290, von Eggen XXVII. 9, von Schmec dink 40, von Avogrado 60, von Mitscherlich 193 und v Biot im XXXI. B. 42.

Hygrometrie.

§. 422.

Sowohl in physikalischer, vorzüglich aber in meteoro logischer Hinsicht wird es oft von Wichtigkeit, den Wasser gehalt der Atmosphäre zu bestimmen. Den Theil der Physik der sich hiermit insbesondere beschäftigt, hat man Hygro metrie genannt, und die Instrumente, welche dazu dienen den Feuchtigkeitszustand der Luft, d. h. die Menge und den Zustand des in ihr enthaltenen Wassergases anzuzeigen und wo möglich zu messen, heifsen Hygrometer oder Feuchtigkeitsmesser, Hygroskope aber, wenn sie blos die Anwesenheit des Wassergases ohne eigentliche Messung anzeigen.

Die hierzu vorgeschlagenen und in Anwendung ge kommenen Apparate sind sowohl hinsichtlich ihrer Einrich tung als auch hinsichtlich der Principien, auf denen sie beruhen, sehr verschiedenartig, die meisten unter ihnen entsprechen aber dem eigentlichen Zwecke nicht vollkommen.

Man kann sie sämmtlich unter drei verschiedene Clas sen ordnen. Zur ersten Classe gehören alle die, bei wel chen man Körper anwendet, die das in der Atmosphäre nach dem verschiedenen Feuchtigkeitszustande derselben enthaltene Wassergas absorbiren, sich dadurch verlängern oder zusammendrehen, überhaupt gewisse Veränderungen in ihren Dimensionen erleiden, und durch die Gröfse die ser Veränderungen, welche durch geeignete Hilfsmittel mefs bar gemacht werden, auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schliefsen lassen. Körper, welche diese Eigenschaft in hin länglichem Grade besitzen, das aufgenommene Wasser aber

auch wieder leicht an die Atmosphäre abgeben, sobald diese trockener wird oder ihr Sättigungszustand abnimmt, nennt man **hygroskopische Körper** oder **hygroskopische Substanzen**. Die für diese Classe, also für Hygroskope, sich eignenden Substanzen stammen meist aus dem organischen Reiche, wie z. B. Haare, Fischbein, Elfenbein, Thierblasen, Federkiele, Darmsaiten, die Grannen des wilden Hafers, die gewundenen Spitzen einiger Geranien und Pelargonien, Holz u. s. w. Dergleichen Feuchtigkeitsmesser haben sämmtlich den Nachtheil, dafs die bei ihnen in Anwendung kommenden hygroskopischen Substanzen ihre Fähigkeit, durch die Feuchtigkeit der Luft afficirt zu werden, mit der Zeit verlieren, dadurch immer unempfindlicher werden und nicht mehr mit einander vergleichbar bleiben. Aufserdem gilt für diese und auch für die folgende Classe noch die Bemerkung, dafs sie nicht die absolute Menge des in der Luft enthaltenen Wassergases, sondern nur das Sättigungsverhältnifs derselben angeben, so dafs bei den vollkommeneren Hygroskopen dieser Art derselbe Grad ihres Mafsstabes oder ihrer Scala zwar eine gleiche verhältnifsmäfsige Annäherung an den Sättigungszustand, aber eine verschiedene absolute Wassermenge in der Luft anzeigen wird, je nachdem die Temperatur zugleich niedriger oder höher ist. Solche Anzeigen sind jedoch nicht unwichtig, indem z. B. die Wahrscheinlichkeit, ob Regen eintreten wird oder nicht, ferner die Leichtigkeit, mit welcher andere in der Luft befindliche Körper dann feucht werden, mehr von diesem Sättigungsverhältnisse als von der absoluten Menge des in der Luft enthaltenen Wassergases abhängig ist. Das bekannteste und wohl auch befste Hygroskop dieser Classe ist das **Saussure'sche Haar-Hygrometer**.

Dieses Hygroskop erhält gewöhnlich folgende Einrichtung: In einem rechtwinkeligen Rahmen von Messing befindet sich

ein 8 bis 12 Zoll langes, durch Auskochen in schwac
von Fett befreites Menschenhaar, welches mit dem e
in einer kleinen Zwinge festgeklemmt, mit dem an
über eine Rolle geführt und durch Gewichtchen im g
Zustande erhalten wird. Die Verkürzung oder Ver
des Haares giebt ein an der Axe der Rolle angebrach
der über einen eingetheilten Kreisbogen läuft, in ver
Mafsstabe an. — Die Fig. 253, welche einer weitern
wohl nicht erst bedarf, stellt ein solches Hygro
— Die Normalpuncte für die Scala sind der Punct, auf
der Zeiger in einer vollkommen trockenen oder wa
Luft steht, und der Punct, auf den der Zeiger zu stehe
wenn die Luft mit Wassergas völlig gesättigt ist. De
der Punct der gröfsten Trockenheit, wird mit 0, de
der Punct der gröfsten Feuchtigkeit, mit 100 bezeich
der dadurch begrenzte Bogen in 100 gleiche Theile
welche man Hygrometergrade nennt. Den Null
Scala findet man, wenn das ganze Hygroskop unter e
glocke gebracht wird, worin sich eine hinlänglich
frisch geglühtes Chlorcalcium oder noch besser co
Schwefelsäure befindet, wodurch alles Wassergas
worden ist, und der Punct der gröfsten Feuchtigkei
das ganze Instrument eben so unter eine Glasglock
wird, deren Wände innerlich mit Wasser besprengt
die in einem Gefäfse mit Wasser steht, wodurch
mit Wassergas gesättigt worden ist. — Die von einen
Hygroskop angezeigten Feuchtigkeitsgrade sind abe
wegs, wie auch schon oben bemerkt wurde, der Men
der Luft befindlichen Wassergases proportional, d. h.
nicht etwa schliefsen, dafs, wenn z. B. das Hygro
oder 50° oder 25° angiebt, die Luft gerade $\frac{4}{7}$, $\frac{1}{2}$ oder
Wassergas enthielte, als zum Sättigungszustand, der
bezeichnet wird, erforderlich sein würde, sondern es
daraus nur folgern, dafs die Luft bei 50° weiter als
und bei 25° weiter als bei 50° vom Sättigungszustande
ist. Gay-Lussac hat durch Versuche bei einer Te
von + 10° C. ermittelt, welche Spannkräfte des in de
sphäre enthaltenen Wassergases den Graden des Hy
entsprechen, und danach eine Tabelle zusammengest
von Biot durch Interpolation noch vervollkommt wo
(S. Marbach's phys. Lex. III. 157.)

Für die zweite Classe der Hygroskope dienen falls hygroskopische Körper, die aber nicht wie ersten Classe durch ihre Raumesänderung, sondern der Menge des aus der Atmosphäre aufgenommene

an diese wieder abgegebenen Wassergasmenge den Feuchtigkeitszustand der Luft anzeigen. Sie werden hauptsächlich nur aus dem unorganischen Reiche entnommen, und zwar eignen sich dazu besonders einige Salze, als Chlorammonium (Salmiak), kohlensaures Kali, Chlornatrium (Kochsalz), besonders wenn es ein wenig Chlorcalcium und Chlorallumium (salzsauren Kalk und Thonerde) enthält, dann die Schwefelsäure und auch einige Steinarten, welche kygroskopische Eigenschaften besitzen. Diese Körper werden meist mit dem Arm einer empfindlichen Wage verbunden, wo dann die Veränderung der Gleichgewichtslage derselben als Mafs für den Feuchtigkeitszustand dient. — Aufser den schon bei der vorigen Classe der Hygroskope erwähnten Unvollkommenheiten mufs von diesen noch bemerkt werden, dafs sie sämmtlich etwas träge sind, d. h. sie folgen dem Wechsel des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre nicht augenblicklich, indem die Aufnahme und Abnahme der Feuchtigkeit einige Zeit erfordert, und namentlich scheint der Uebergang zu einem gröfseren Grade von Trockenheit nicht schnell genug von ihnen angezeigt zu werden.

Die dritte Classe dieser Instrumente, die der eigentlichen Hygrometer, beruht auf der bei Verdunstung von Flüssigkeiten eintretenden Wärmebindung und dem dadurch erfolgenden Niederschlag der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdünste. Bei einer vollkommenen Construction sind diefs die einzigen Hygrometer, welche allen physikalischen Forderungen genügend entsprechen.

Wenn man nämlich, wie le Roy zuerst vorschlug, ein Glas mit Wasser von der Temperatnr der äufsern Luft durch hinzugegossenes eiskaltes Wasser so lange erkältet, bis die äufsere Glasfläche durch das sich daran niederschlagende Wassergas zu trüben anfängt, so zeigt

dann der Unterschied zwischen den Temperaturen der Luft und des Wassers an, um wieviel Grade die Luft abgekühlt werden mufs, damit das bei ihr befindliche Wassergas dem Sättigungszustand annimmt; je mehr Wärmegrade dieser Temperaturunterschied beträgt, desto weniger Wassergas ist in der Luft vorhanden oder desto trockener ist dieselbe. Wäre die Luft vollkommen mit Wassergas gesättigt, so würden beide Temperaturen nicht von einander verschieden sein, und die mindeste Abkühlung des Glases würde einen Niederschlag erzeugen. Den Wärmegrad, bei welchem sich das in der Atmosphäre vorhandene Wassergas zu condensiren anfängt, bei dem es sich also im Maximo der Dichtheit befinden würde, hat man den Thau- oder Condensationspunct genannt. Wäre z. B. die Lufttemperatur + 25° C., der Condensationspunct bei + 12,5° C., so enthielte die Luft so viel Wassergas, dafs dasselbe bei + 12,5° C. das Maximum seiner Dichtheit erreichte; demnach müfste die Wasserdunst bei dieser Temperatur nach Tab. XI. eine Spannkraft von 0,340 Par. Z. Quecksilberhöhe haben. Dieselbe Spannkraft besitzt es aber auch in der freien Atmosphäre bei + 25° C., weil hier durch die gröfsere Wärme keine Aenderung in der Spannkraft, sondern nur eine Ausdehnung oder Verdünnung des Wassergases bewirkt wird. Bei + 25° C. hat aber das Wassergas im Maximo seiner Dichte eine Spannkraft von 0,801 Par. Zoll Quecksilberhöhe, und da das nach der Beobachtung oben in der Atmosphäre vorhandene Wassergas nur die Spannkraft von 0,340 anzeigte, so enthält die Luft auch nur $\frac{0,340}{0,801}$ oder 42 Procent von derjenigen Menge des Wassergases, die bei dieser Temperatur vorhanden sein müfste. Obgleich dieses Verfahren nicht zu ganz genauen Resultaten führt, so hat es doch offenbar der neuen und vollkommenen Hygrometrie den *Weg gebahnt.*

Hygrometer, welche auf diesem Principe beruhen, sind das Daniell'sche Schwefeläther-Hygrometer und das August'sche Psychrometer. Das letztere ist unbedingt das vollkommenste Instrument dieser Art, welches wir bis jetzt besitzen, indem sich mittels desselben die Spannkraft des in der Luft vorhandenen Wassergases, der Thaupunct, der Sättigungspunct der Atmosphäre und daraus auch das absolute Gewicht des darin vorhandenen Wassers für einen gegebenen Raum bestimmen läfst.

Das Psychrometer (Nafskältemesser) besteht aus zwei genau correspondirenden sehr empfindlichen und bis wenigstens zu Fünftel-, besser aber bis zu Zehntel-Graden eingetheilten Quecksilber-Thermometern *A* und *B* Fig. 254, deren Scala aber nur von etwa 25° C. unter Null bis 40° C. über Null zu gehen braucht, welche beide an einem gemeinschaftlichen Gestelle ungefähr 3 Zoll von einander entfernt aufgehangen sind. Die Kugel des einen *A* ist mit Mousselin umhüllt, der dadurch immer feucht erhalten wird, dafs zu ihm aus einem kleinen mit destillirtem Wasser gefüllten Gefäfse *w* ein baumwollener Faden hinabgeführt wird, während die Kugel des andern *B* trocken bleiben mufs *). Durch die Verdunstung des Wassers, welches die Kugel des feuchten Thermometers in einer ganz dünnen Schicht umgiebt und die um so schneller vor sich geht, je trockner die Luft ist, fängt dieses Thermometer an zu sinken und zwar so lange, bis die die Kugel umgebende Luft mit Wasser gesättigt ist. Die Temperatur, die dann dieses Thermometer anzeigt, wenn es sich nicht mehr verändert, ist der Condensationspunct, den man auch die Nafskälte genannt hat. Je gröfser der Temperaturunterschied des feuchten und trockenen Thermometers oder der Nafskälte und der Luftwärme ist, desto trockener ist die Luft oder desto entfernter ist das in der Luft befindliche Wassergas von seinem Sättigungszustande, weshalb der Temperaturunterschied zwischen beiden Thermometern gleich Null sein mufs, sobald sie sich in einer Luft befinden, in der das Wassergas das Maximum der Dichtheit erreicht hat. Aus den Wärmegraden, welche beide Thermometer anzeigen, läfst sich, wie oben durch das Beispiel erläutert wurde, die Spannkraft des Wassergases und der Procentgehalt desselben

*) Die vollkommensten Werkzeuge dieser Art sind bis jetzt aus den Ateliers des Mechanikers Greiner jun. in Berlin, des Mechanikers Loos in Darmstadt und des Universitätsfischlers Weilhöfer in Wien hervorgegangen.

in der Luft berechnen. Ganz genaue Resultate für diese Werthe erhält man bei Anwendung folgender zwei vom Prof. August angegebenen neueren Formeln, bei welchen zugleich der jedesmalige Barometerstand mit berücksichtigt ist.

I.) $x = \frac{e - 0{,}558\ (t - t')\ b}{512 - t'}$ und

II.) $x = \frac{e - 0{,}558\ (t - t')\ b}{572 - t'}$.

In ihnen bedeutet x die zu suchende Spannkraft des Wassergases der Atmosphäre in Par. Linien, e eben so die Spannkraft in Par. Linien, welche nach Tab. XIX der Temperatur des feuchten Thermometers entspricht, t die Temperatur des trockenen, t' die des feuchten in R°, b den Barometerstand zur Zeit der Beobachtung in Par. Linien auf C° reducirt, und zwar dient die Formel I.) für Temperaturen über 0°, die II.) für solche, wo der feuchte Thermometer beeist ist, also für Temperaturen unter 0°.

Um der Berechnung nach diesen Formeln zum Theil überhoben zu werden, haben einige Physiker Tabellen entworfen, welche für jede Anzeige des Psychrometers die Hauptresultate schon berechnet enthalten, wie z. B. die Psychrometertafeln (von August) in Wandtafelformat, Berlin 1832, Hülfstafeln u. Beiträge zur neuen Hygrometrie von Stierlein, Köln 1854 und Marbach's phys. Lex. III. 147. — Tab. XXIII und XXIV des Anhangs sind mit einigen Abänderungen aus Schubart's Samml. physik. Tab., Berlin 1836 entlehnt.

Die Hygrometrie überhaupt findet man aufserdem noch vollständiger abgehandelt, als es dem Zwecke eines Lehrbuchs entspricht, in Gehler's phys. Wrtb. n. A. V. 592—602, Marbach's phys. Lex. III. 138—166, so wie die Abbildung und Beschreibung fast aller bis jetzt bekannt gewordenen Meſswerkzeuge dieser Art im Laboratorium Tab. XVI, XXIX, CXIX.

§. 423.

Auch noch zu andern als meteorologischen Zwecken wird die Eigenschaft hygroskopischer Körper, der Luft, so wie solchen Körpern, mit welchen diese in Berührung steht, die Dünste zu entziehen, benutzt. Der Physiker und Chemiker bedient sich derselben häufig, um dadurch abgeschlossene Lufträume und darin befindliche Körper auszutrocknen oder Gase von beigemengten Dünsten zu bereiten. Die hierzu in Anwendung kommenden hygroskopischen Substanzen sind hauptsächlich geglühtes Chlor-

calcium (salzsaurer Kalk) und concentrirte Schwefelsäure (man vergl. den dritten und vierten Versuch §. 410 und das Verfahren, den Punct der gröfsten Trockenheit für einen Haarhygrometer zu bestimmen, im vorigen §.), welche man entweder in den abgesperrten Lufträumen aufstellt oder durch die man man die auszutrocknenden Gase hindurchstreichen läfst. In einem gröfseren Mafsstabe kann man sich solcher Stoffe auch bedienen, um Behältnisse trocken zu machen und zu erhalten, in welche Gegenstände untergebracht werden sollen, die durch vorhandene Feuchtigkeit verderben würden, wie z. B. Lebensmittel und vorzüglich Schiefspulver. Läfst sich in einem solchen Behältnifs ein hinlänglich starker Luftzug hervorbringen, so wird dadurch meist nach kurzer Zeit der Sättigungszustand der darin abgesperrten Luft vermindert; ist dieſs aber nicht möglich, so mufs man in solchen Räumen nach Verhältnifs ihrer Gröfse an einigen Orten hinlängliche Quantitäten hygroskopischer Körper aufstellen, welche das vorhandene Wassergas einsaugen, wozu gebrannter Kalk ein vorzüglich geeigneter Körper ist. Am wirksamsten zeigt sich aber in diesen Fällen die durch Luftheizung ihres Wassergases beraubte Luft selbst, indem diese im erhitzten Zustande als ein höchst hygroskopischer Körper allen den Körpern, mit denen sie in Berührung kommt, ihre Feuchtigkeit entzieht, um sich mit der ihrer Temperatur entsprechenden Menge Wassergas zu sättigen. Bei Trocknensälen und Trocknenkammern würde durch Anwendung dieses Mittels ihr Zweck gewifs am sichersten und schnellsten erfüllt werden.

VII. Von der Anwendung der Wasserdämpfe zu technischen Zwecken.

§. 424.

Der Wasserdampf fand in der neueren Zeit eine immer mannigfachere und ausgebreitetere Anwendung zu techni-

schen Zwecken und spielt deshalb gegenwärtig eine nicht unbedeutende Rolle in den verschiedenen Zweigen des industriellen Lebens. Die wichtigsten Dienste leistet er unbestreitbar durch seine Expansivkraft bei den **Dampfmaschinen**; aufserdem benutzt man aber auch die beträchtliche Menge der in ihm vorhandenen freien und gebundenen Wärme (§. 409) bei der sogenannten **Dampfheizung** zum Erwärmen von Behältnissen und Austrocknen mancher Körper, so wie auch die auflösende Kraft der die Siedehitze des Wassers übersteigenden Dämpfe bei den verschiedenen **Dampfkochapparaten** theils zum Kochen von Speisen u. dergl., theils zur Auflösung und Erweichung fester Körper eine häufige Anwendung findet.

Einer der einfachsten Apparate, mit welchem sich sowohl das mechanische als auch das thermische Verhalten der Wasserdämpfe nachweisen läfst, ist die sogenannte **Dampfkugel** oder **Aeolipila**. Es besteht dieselbe aus einer 3 bis 4 Zoll im Durchmesser haltenden Hohlkugel von Kupfer oder Messing *A*. Fig. 255. Die Oeffnung *a* in derselben dient theils zum Einfüllen der zu verdampfenden Flüssigkeit, theils zum Daraufschrauben eines nach Erfordern verschieden gekrümmten Metallrohrs, aus dessen Oeffnung *b* die in der Kugel erzeugten Dämpfe ausströmen können. Nachdem die Aeolipila ungefähr bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt worden und das Dampfrohr darauf geschraubt ist, wird dieselbe am befsten über eine Spirituslampe gestellt, um die Flüssigkeit bis zum Sieden zu erhitzen. Zur Sicherung gegen das Zerspringen bringt man meist zur Seite der Oeffnung noch ein Federventil *v* an.

Folgende Versuche zeigen dann die den Dämpfen zukommende expansive und forttreibende Kraft.

Erster Versuch. Läfst man den Dampf des siedenden Wassers aus der Oeffnung *b* des Dampfrohrs gegen ein leicht bewegliches Flügelrad *R* Fig. 255 strömen, so erfolgt diefs mit einer solchen Heftigkeit, dafs dadurch das Rad in schnelle rotirende Bewegung versetzt wird.

Zweiter Versuch. Giebt man dem Dampfrohre eine solche Krümmung, wie Fig. 256 zeigt, und füllt die Kugel statt mit Wasser mit Weingeist, so dienen die aus der Oeffnung *b* ausströmenden Weingeistdämpfe als Gebläse für die auf die Kugel einwirkende Weingeistflamme, wodurch man einen so

intensiven Feuerstrom enthält, dafs man in ihm Glas schmelzen und mehre Metalle zusammenlöthen kann.

Dritter Versuch. Wird die Dampfkugel, wie Hero von Alexandrien 120 Jahre v. Chr. angegeben, mit einer Achse versehen, um welche sie sich drehen kann, Fig. 257, und giebt man dem Dampfrohre *ab* eine solche Gestalt, dafs der Dampf tangential zur Achse ausströmen mufs, so erfolgt durch die rückwirkende Kraft desselben der Ausströmungsöffnung gegenüber die Rotation der Kugel nach dem Princip der Segner'schen Maschine (§. 170) in der entgegengesetzten Richtung, wie der Dampf ausströmt.

Schraubt man auf die Oeffnung *a* der Dampfkugel Fig. 258 statt des Dampfrohrs die Barometerröhre *bg*, welche hier die Stelle eines Manometers (§. 205) vertritt, auf, so dient dieser Apparat dann dazu, die wachsende Spannkraft der Dämpfe bei der Zunahme ihrer Temperatur anzuzeigen. Zu diesem Behufe ist neben dem Barometerrohre das Thermometer *t* angebracht, dessen Kugel mit in den Dampfraum zu stehen kommt, und welches dadurch die vorhandene Temperatur der Wasserdämpfe anzeigt. Die Spannkraft oder der Druck aber wird durch die in der mit einer Scale versehenen Barometerröhre aufsteigenden Quecksilbersäule gemessen, deren Gefäfs *b* so viel Quecksilber fafst, dafs die ganze oben offene Röhre davon angefüllt werden kann. Rechnet man zu der vom Dampfe emporgehobenen Quecksilbersäule noch den eben stattfindenden Barometerstand, so drückt diese Summe die Spannkraft der Wasserdämpfe aus, welche der vom Thermometer angezeigten Temperatur entspricht.

Eben so läfst sich auch noch mit einem dergleichen Apparate das thermische Verhalten der Dämpfe durch folgende Versuche nachweisen.

Fünfter Versuch. Strömt der heifse Wasserdampf aus dem Dampfrohre in die freie Luft, so wird ihm dann von der kälteren Atmosphäre ein Theil seiner Wärme entzogen, wodurch das Wassergas theilweise condensirt als sichtbarer Dunst erscheint, indem sich nämlich unendlich viele sehr kleine Dunstbläschen bilden, die wie kleine Aerostaten, mit feuchter Luft gefüllt und von einer dünnen Wasserhülle umgeben, von der Atmosphäre getragen werden.

Leitet man dagegen diesen Dampfstrom über eine heifse Metallplatte, über glühende Kohlen oder über eine Lichtflamme hinweg, so bleibt er unsichtbar, weil hier keine Absorbirung der Wärme und mithin auch keine Condensation des Wassergases stattfinden kann.

Sechster Versuch. Wird der Dampfstrom gegen feste kalte Körper, z. B. gegen eine Metallplatte oder in einen kalten Glaskolben geleitet, so schlägt sich an diesen Körpern das

Wasergas sofort in tropfbar-flüssiger Gestalt nieder, und die Körper werden durch die frei werdende Wärme bedeutend erhitzt.

Dasselbe geschieht, wenn man, wie Fig. 259 zeigt, die Ausströmungsöffnung des Dampfrohrs in ein Glas mit Wasser leitet. Die Dämpfe condensiren sich dann augenblicklich, so dafs die Blasen, welche nahe an der Oeffnung *b* entstehen, sofort wieder verschwinden und nicht wie Luftblasen an die Oberfläche des Wassers gelangen. Dabei erhitzt sich das Wasser im Glase immer mehr, wie ein darin stehendes Thermometer anzeigt, bis es endlich auf diese Weise selbst zum Sieden kommt, wodurch man sich auf eine anschauliche, wenn auch nicht genau messbare Weise von der beträchtlichen Menge der im Wasserdampfe latenten Wärme überzeugen kann.

§. 425.

Die Dampfmaschinen sind unstreitig eine der nützlichsten und wichtigsten Erfindungen des vorigen Jahrhunderts. Das Princip derselben beruht darauf, dafs Wasserdämpfe über der Temperatur ihrer Siedehitze durch ihre dann erlangte bedeutende Expansivkraft (man vergl. hiermit §. 415 und Tab. XX des Anhanges) Körper, auf welche sie einwirken, fortschieben, sobald sie aber abgekühlt werden, die Expansivkraft schnell verlieren und dadurch den fortgeschobenen Körpern Gelegenheit geben, ihre Stelle wieder einzunehmen.

Diese angeführte Fundamentalwirkung des Wasserdampfes, worauf im Allgemeinen die Einrichtung aller Dampfmaschinen beruht, läfst sich durch folgenden einfachen Apparat und Versuch veranschaulichen.

Versuch. Die hierzu dienende Vorrichtung besteht aus einer ungefähr 1 Zoll weiten Glasröhre *ab* Fig. 260, die an einem Ende zur Kugel *A* ausgeblasen, am andern Ende aber offen ist. In die Röhre pafst ein mit Werg oder Baumwollfäden umwickelter Stempel *p*, der mittels des Metallstabes *s* in die Röhre hinab geschoben werden kann und den man durch etwas Fett dicht anschliefsend macht. — Bringt man nun in die Kugel *A* etwas Wasser und erhitzt dieses über einer Spirituslampe bis zum Sieden, so treibt der sich bildende Dampf den Stempel *p* bis an das Ende *a* der Röhre in die Höhe. — Taucht man hierauf die Kugel mit dem Rohre in ein Gefäfs mit kaltem

Wasser, so wird der gebildete Dampf abgekühlt oder condensirt, es entsteht unter dem Stempel ein luftverdünnter Raum, und die Atmosphäre treibt nun den Stempel wieder in die Glasröhre hinab.

Die Haupttheile jeder Dampfmaschine sind der Dampfkessel und der Dampfcylinder. In ersterem befindet sich das Wasser, welches in Dampf verwandelt wird, um als solcher in letzteren überzugehen und auf den darin befindlichen Kolben die bewegende Kraft auszuüben. Aufser diesen Haupttheilen sind nun aber an jeder Dampfmaschine auch noch mehre Vorrichtungen und Maschinentheile angebracht, durch welche jene Haupttheile mit einander in Verbindung treten, wodurch der ganze Gang der Maschine regulirt und die bewegende Kraft derselben nach Erfordern fortgeleitet wird.

Dem aus dem zähesten Schmiedeisen anzufertigenden Dampfkessel hat man verschiedene Formen gegeben, bald ist er kofferförmig, bald kugelförmig, am häufigsten aber cylindrisch gestaltet, zuweilen besteht er auch aus vielen unter sich verbundenen Röhren, damit die Folgen eines Zerspringens weniger gefährlich werden. In ihm befindet sich bis zu einer gewissen Höhe das Wasser, über diesem ist der Raum, in welchem sich die erzeugten Dämpfe ansammeln können, und unter demselben ist eine Feuerung vorhanden, wodurch das Wasser in's Kochen gebracht und darin erhalten wird. Aus dem Dampfraume des Kessels geht ein Rohr, das sogenannte Dampfrohr, zum Cylinder, durch welches diesem die erzeugten Dämpfe zugeführt werden. Eine zweite Röhre, die sogenannte Speiseröhre, dient dazu, dem Kessel das durch die Verdampfung verbrauchte Wasser wieder zuzuführen. Aufserdem befinden sich an Dampfkesseln aber auch noch verschiedene Vorrichtungen, durch welche der Wasserstand im Kessel regulirt und geprüft werden kann, wodurch man denselben

Wege ist, und dann der Expansion der Dämpfe die fernere Bewegung des Kolbens überlassen.

Nach der zweiten Beziehung unterscheidet man:

1.) **Maschinen mit niederem Druck oder Tiefdruckmaschinen**, bei denen die Spannkraft der wirkenden Dämpfe nur wenig gröfser als der Atmosphärendruck ist, und

2.) **Maschinen mit hohem Druck oder Hochdruckmaschinen**, wo das Wasser so weit erhitzt wird, dafs die Dämpfe eine Spannkraft von wenigstens 2 bis 10 Atmosphären annehmen.

Nach der dritten Beziehung endlich unterscheidet man:

1.) **Maschinen mit Condensation**, bei denen nämlich die bereits in Wirksamkeit gewesenen Dämpfe mittel- oder unmittelbar durch kaltes Wasser in der Maschine verdichtet werden, und

2.) **Maschinen ohne Condensation**, wo die gebrauchten Dämpfe aus dem Cylinder unmittelbar in die freie Luft strömen.

Aufser diesen Hauptarten der Dampfmaschinen giebt es jedoch noch manche andere, die aber keine besondern Systeme bilden und meist bei wesentlich abweichenden Eigenthümlichkeiten mit den Namen ihrer ersten Erbauer bezeichnet werden.

Darüber, wann, wo und von wem gewissermafsen die Grundidee zu diesen wichtigen Maschinen ausgegangen, ist man verschiedener Ansicht. Will man eine Vorrichtung, bei der Wasserdämpfe eine Bewegung erzeugen, eine Dampfmaschine nennen, so mufs man eigentlich **Hero v. Alexandrien** (120 Jahre v. Chr.) als den Erfinder derselben betrachten, da von ihm die rotirende Dampfkugel oder Aeolipila (s. den dritten Versuch §. 424) erfunden wurde. Wichtiger für die Kenntnifs der Wirksamkeit der Dämpfe war im 17ten Jahrhundert die Erfindung von **Denis Papin**, der die Kraft des abgesperrten Wasserdampfes in dem nach ihm benannten **Papinschen Topfe** oder **Digestor** benutzte, die Sicherheit

ppe angab und nicht nur die Vermuthung aussprach, dafs ch der Dampf zum Forttreiben der Schiffe und zum Werfen on Geschossen würde anwenden lassen, sondern mittels eines on ihm 1687 erfundenen Apparates, wie er in dem Versuche n Anfang dieses Paragraphen beschrieben ist, in einem Cylin-er einen Kolben durch Dampfentwickelung empor- und durch bkühlung zurücktreiben liefs, wobei sich das Spiel dieses Kolbens in einer Minute mehrmals wiederholte. Hierdurch war gewissermafsen schon die Grundidee zu allen den später ausgeführten Kolbenmaschinen gegeben.

Die erste eigentliche Dampfmaschine wurde aber von dem englischen Schmied Newcomen im Jahr 1705 ausgeführt. Sie war eine einfache Tiefdruckmaschine, bei welcher Wasserdämpfe den Cylinderkolben hoben, und nachdem er den höchsten Punct erreicht hatte, die Dämpfe durch eingespritztes Wasser verdichtet wurden, wo dann der Kolben in Folge des Drucks der Atmosphäre wieder hinabsank. Bei diesen Maschinen ist daher der Dampf nur mittelbar die Ursache der Bewegung, da mit Hilfe desselben auf der unteren Seite der Kolbenfläche durch seine Condensirung ein luftverdünnter Raum erzeugt wird, um auf der oberen Fläche den gewöhnlichen Druck der Atmosphäre in Wirksamkeit treten zu lassen. Sie sind es, die man hauptsächlich unter atmosphärischen Maschinen versteht.

Die meisten und wesentlichsten Vervollkommnungen erhielten aber die Dampfmaschinen nach und nach durch Watt. Zuerst kam dieser auf den Gedanken, den Dampf nicht mehr in dem Cylinder, sondern in einem besondern Behälter, dem Condensator, zu verdichten, wodurch das nachtheilige Abkühlen der Cylinderwände vermieden und daher eine beträchtliche Menge an Dampfkraft erspart wurde. Immer aber erzeugte dann die Expansivkraft des Dampfes noch nicht diejenige Bewegung, welche die Maschine eigentlich hervorbringen sollte, sondern es entstand diese Wirkung, wie schon erwähnt, nur durch den Druck der Atmosphäre auf die obere Kolbenfläche, den man aber nicht nach Erfordern steigern oder mäfsigen konnte. Watt war ebenfalls der Erste, der auch diese Unvollkommenheit beseitigte, indem er den Dampfcylinder oben verschlofs und statt des Atmosphärendrucks nun den Dampf, der eine gröfsere Druckkraft als die Atmosphäre erhalten konnte, von oben in den Cylinder treten und auf den Kolben wirken liefs. War nun der Kolben vom Dampfe bis zum Boden niedergedrückt worden, so hörte das Zuströmen des Dampfes auf, dagegen öffnete sich unter dem oberen Cylinderverschlufs ein zum Condensator führender Kanal, wo alsdann der aus dem Cylinder einströmende Dampf seine Spannkraft verlor und der

Kolben durch an seiner Stange wirkende Gewichte wieder in die Höhe gehoben wurde. Hatte der Kolben auf diese Weise seinen frühern Stand wieder erreicht, so verschloſs sich die Communication mit dem Condensator, wogegen der Dampf von Neuem über den Kolben einströmte, und so wiederholte sich abermals das eben beschriebene Kolbenspiel u. s. w. Bei diesen Maschinen, welche man einfach wirkende genannt hat, findet aber eben so wie bei den atmosphärischen Maschinen eine intermittirende Wirkung statt, weil der Kolben bei seinem Emporsteigen keine Kraftwirkung äuſsert, und deshalb lieſsen sich dergleichen Maschinen nur da mit Vortheil anwenden, wo eine Unterbrechung ihrer Wirksamkeit nicht nachtheilig war, wie dieſs bei'm Emporheben von Wasser der Fall ist. Diese wesentlichste Unvollkommenheit beseitigte Watt endlich noch durch Erfindung seiner doppelt wirkenden Dampfmaschine, bei welcher, wie schon angeführt, der Kolben, auf- und abwärts durch die Dampfkraft getrieben, nun der Maschine eine ununterbrochene Wirksamkeit ertheilt, durch die sie erst zur Erzeugung jeder Art von Bewegung fähig ist. Es mag daher von einer solchen Maschine mit Condensation eine nähere Beschreibung und Abbildung folgen.

Die Fig. 261 stellt den Dampfkessel mit seinen Theilen und Fig. 262 den Mechanismus der damit in Verbindung stehenden Maschine dar.

KK Fig. 261 zeigt den Längendurchschnitt des cylindrisch oder kofferförmig gestalteten Kessels mit seinem darunter befindlichen Feuerheerde *FF*, *ww* drückt den Normalwasserstand aus, über welchem der zum Ansammeln des Dampfes hinlängliche Raum *D* verbleiben muſs.

Um den Stand des Wassers im Kessel zu jeder Zeit wahrnehmen zu können, wird bei Maschinen mit niederem Druck an diesen ein Standmesser, nämlich eine sowohl mit dem Wasser als auch mit dem Dampfraume communicirende Röhre, deren verticaler Theil *tt* von Glas ist, angebracht, in welcher dann nach hydrostatischen Gesetzen (§. 161) das Wasser auf derselben Höhe wie im Kessel stehen muſs. Bei Maschinen mit hohem Druck bringt man meist zwei Probehähne *h*, *h'* an dem Kessel an, die beide mit einer abwärts gekrümmten Röhre versehen sind; die Röhre des einen Hahns, des Wasserhahns *h*, taucht mit ihrer Oeffnung in das Wasser des Kessels, die des andern, des Dampfhahns *h'*, mündet über der Wasserfläche, wenn diese ihren gehörigen Stand hat. In diesem Falle strömt bei'm Oeffnen aus dem ersteren Hahne Wasser, aus dem letzteren Dampf; steht das Wasser im Kessel aber zu tief, so strömt aus beiden Dampf, und, steht es zu hoch, aus beiden Wasser.

Wesentlich nothwendig ist es, das Wasser im Kessel, welches durch die Feuerung in Dampf verwandelt und von der Maschine als solcher verbraucht wurde, ununterbrochen zu ersetzen. Hierzu dient die bei *S* befindliche und bereits §. 176 hinsichtlich ihrer mechanischen Einrichtung und Wirkung beschriebene **Speisevorrichtung**, weshalb hiermit auf diesen §. verwiesen wird. Das Wasser in der Speiseröhre *vo* mufs nothwendig so hoch stehen, dafs das Gewicht der darin befindlichen Wassersäule sammt dem Drucke der Luft dem Gegendrucke des Dampfes gleich kommt. Ueberwiegt aber der Druck des Dampfes den der Luft z. B. um 1 Pfd. auf den Quad. Zoll, so mufs die Wassersäule in der Speiseröhre $32 : \frac{9}{11} = 26\frac{2}{11}$ Z. (wo 32 Loth = 1 Pfd. und $\frac{9}{11}$ Loth das Gewicht von einem französischen, englischen oder preufsischen Cub. Z. Wasser ist) oder etwa 2 Fufs Höhe haben, bei 2 Pfd. Ueberschufs des Drucks über 4 Fufs Höhe u. s. w. Hätte der Dampf die Spannkraft von 2 Atmosphären, so müfste die Wassersäule schon 32 Fufs Höhe erhalten; daher wird diese Art der Speisevorrichtung nur bei Tiefdruckmaschinen angewendet, bei welchen der Dampf höchstens 4 Pfd. Druck auf den Quad. Z. mehr als Atmosphärendruck ausübt oder etwa $1\frac{1}{4}$ Atmosphäre Spannung hat. Bei Hochdruckmaschinen, wo diese Speiseröhren eine ungeschickte Länge erhalten müfsten, werden Druckpumpen angewendet, welche, durch das Wasser selbst bewegt, das Wasser in den Kessel treiben.

Damit man ferner zu jeder Zeit ersehen kann, welche Spannkraft der im Kessel befindliche Dampf erreicht hat, steht mit dem Dampfraume ein Manometer *M* in Verbindung. Die Einrichtung dieser Mefsapparate wurde schon §. 205 beschrieben, und auf Tab. IV sind sie in Fig. 131 und 132 in gröfserem Mafsstabe dargestellt.

Zur Verhütung des Zersprengens der Kessel durch die Dämpfe ist es aber noch nicht hinreichend, die Spannkraft derselben im Kessel stets erfahren zu können, weil durch Versäumnifs gehöriger Beobachtung es leicht geschehen kann, dafs sie eine zu grofse Spannkraft erreichen; deshalb mufs die Maschine dem Dampfe, sobald sein Druck das für den Kessel angenommene Maximum überschreitet, einen Ausweg verschaffen, was durch das sogenannte **Dampf-** oder **Sicherheitsventil** *T* geschieht. Gewöhnlich besteht dasselbe aus einem nach aufsen sich öffnenden Kegelventil in der Decke des Kessels, wie Fig 261[a] in gröfserem Mafsstabe darstellt und bereits §. 417 beschrieben wurde. Statt der Hebelvorrichtung kann aber auch das Ventil *v* Fig. 261[b] unmittelbar mit Gewichten *g* beschwert werden, und ist ein solches dann noch mit einem durchlöcherten Metallcylinder bedeckt, um es vor absichtlicher

sorgen. Alle diese Pumpen stehen, wie auch die Figur zeigt, mit dem Balancier in Verbindung und werden durch diesen in Bewegung gesetzt. — Bei der hier abgebildeten Stellung des Wechselhahns *c* gelangen die Dämpfe aus dem Kessel durch den Kanal *a* unter den Kolben, und die über dem Kolben befindlichen durch *b* und *f* in den Condensator. Macht dieser Hahn durch die Steuerung eine Vierteldrehung, so bekommt er die Stellung, welche Fig. 262ª zeigt; dann können die Dämpfe durch den Kanal *b* über den Kolben treten und die unter ihm befindlichen durch *a* und *f* in den Condensator gelangen.

Statt der vorher beschriebenen Steuerung durch den Wechselhahn wird auch häufig, namentlich bei Hochdruckmaschinen ohne Condensation, ein an dem äufsern Umfange des Dampfcylinders angebrachter hohler Halbcylinder als sogenanntes Schieberventil angewendet, welches, auf ähnliche Weise mit einem Winkelhebel in Verbindung stehend, durch die Maschine verschoben wird und dadurch Dampf unter und über den Kolben leitet. Die Fig. 262ᵇ zeigt dieses Schieberventil in der Stellung, wo der Dampf unter, und die Fig. 262ᶜ, wo er über den Kolben tritt.

Zur Sicherung eines sich stets gleich bleibenden Ganges der Maschine dient endlich noch der Regulator *R*. Dieser besteht aus einer verticalen Eisenstange, von deren oberem Ende, ebenfalls an dergleichen Stangen, zwei schwere eiserne Kugeln pendelartig herabhängen. Durch einen, auf verschiedene Weise ausführbaren, mit der Welle des Schwungrades in Verbindung stehenden Mechanismus erhält die Regulatorstange eine Achsendrehung, zufolge welcher sich die Pendelkugeln vermöge der ihnen durch die Drehung ertheilten Schwungkraft um so mehr heben, je schneller jene Achsendrehung erfolgt. Ein an der Regulatorstange verschiebbarer eiserner Ring *z* steht durch zwei Stäbe mit den Pendelstangen in Verbindung, durch die er an jener Stange bei der Bewegung der beiden Centrifugalpendel herauf- und heruntergeschoben wird. An diesem Ringe ist nun eine Winkelhebelvorrichtung angebracht, die in der Figur die punctirte Linie *xxx* andeutet und bis zum Dampfrohre fortläuft, bei welchem ihr anderes Ende an eine im Innern angebrachte Drehklappe *x* befestigt ist, die sich in dem Mafse mehr schliefst, je höher sich die Kugeln des Regulators heben oder je schneller die Maschine geht, wodurch sich dann die zum Cylinder strömende Dampfmenge vermindert und die Maschine ihre normale Bewegung wieder annimmt.

Dampfmaschinen ohne Condensation sind viel einfacher als die eben beschriebenen Watt'schen mit Condensation, indem bei jenen alle die zur Condensirung der Dämpfe erforderlichen Maschinentheile wegfallen; sie können aber nur als Hochdruck-

maschinen, und zwar stets als doppelt wirkende ausgeführt werden, weil sie den bereits auf der einen Kolbenfläche in Wirksamkeit gewesenen Dampf statt in den Condensator in die freie Luft treiben, daher den Gegendruck der Atmosphäre auf diese Kolbenfläche überwinden und den Kolben von der andern Seite her mit der erforderlichen Kraft fortschieben müssen. — Dergleichen Hochdruckmaschinen ohne Condensation hat zuerst Trevithik in England und Evans in Amerika ausgeführt. Es können aber auch Hochdruckmaschinen mit Condensation arbeiten, und dann ist ihr Mechanismus der Hauptsache nach dem der doppelt wirkenden Watt'schen Maschine gleich; nur braucht man bei ihnen wegen der höheren Temperatur der Dämpfe mehr Einspritzwasser als bei jenen, und sie müssen das Wasser zur Speisung des Kessels, wie auch schon oben bemerkt wurde, durch eine besondere Druckpumpe, welche den Gegendruck des Dampfes im Kessel überwältigt, in diesen treiben.

Von den neueren in ihrer Construction abweichenden Arten der Dampfmaschinen mag noch in der Kürze die Einrichtung der 1823 von Perkins angegebenen beschrieben werden, da man sich von ihren Wirkungen so aufserordentlich viel versprach, obschon über die eigentlichen Vortheile dieser Maschine noch bis zum heutigen Tage kein zuverlässiges Resultat bekannt gemacht wurde. Die wesentlichste Verschiedenheit bei dieser Maschine liegt in der Art der Dampfbildung, indem sie keinen eigentlichen Kessel besitzt, sondern ein sehr starkes cylindrisches Gefäfs, den Generator, welcher, ganz mit Wasser angefüllt, im Feuer liegt, wodurch jenes bis zu einer Temperatur von 400° bis 450° F. (163½° R. oder 204° C. bis 186° R. oder 232½° C.) erhitzt werden soll. Wird nun neues Wasser durch eine Druckpumpe in das Gefafs gepreſst, so strömt ein Theil jenes hoch erhitzten Wassers durch ein Ventil aus und verwandelt sich augenblicklich in Dampf, nach Perkins's Angaben, von 35 Atmosphären Spannung (ungefähr 500 Pfd. Druck auf den Quad. Z.) Diese hochgespannten Dämpfe treten in einen nur 18 Z. langen, 2 Z. weiten Cylinder, treiben dessen Kolben in 1 Min. 200mal hin und her und üben daher (wie sich aus dem folgenden §. ergiebt) eine Wirkung von 10 Pferdekräften aus. Diese Art von Dampfmaschine nach ihrer ursprünglichen Einrichtung nimmt einen sehr kleinen Raum ein und soll nur ¼ so viel Brennmaterial brauchen als die Watt'sche doppelt wirkende; jedoch ist sie in eben dieser Einrichtung in der Wirklichkeit nicht wohl ausführbar, auch im Grofsen nicht ausgeführt worden, da bei der in Anwendung zu bringenden beträchtlichen Hitze es eben so schwer ist, die erforderliche Haltbarkeit der Maschinentheile, namentlich des Generators,

zu erreichen, weil diese hierdurch an Cohäsion bedeutend
lieren, als es auch schwer halten dürfte, für diese Tempe
ein dauerndes und unverändert bleibendes Schmiermittel
findig zu machen. — Das meiste Aufsehen erregten diese Da
maschinen aber dadurch, dafs man die Expansivkraft
hochgespannten Wasserdämpfe statt des Schiefspulvers
Forttreiben der Geschosse anzuwenden versuchte. Diese
nannten Dampfkanonen unterschieden sich nämlich vo
sern gewöhnlichen Pulverwaffen hauptsächlich darin, da
durch die Permanenz der forttreibenden Kraft in kurze
hinter einander eine grofse Anzahl von Kugeln fortschlend
und dieser Kugelregen durch die Drehbarkeit des Rohres
jeder Richtung gelenkt werden konnte. Anfänglich schi
als wenn dem Kriegswesen durch die Erfindung dieser
Waffen eine ähnliche Umwälzung bevorstehe, wie durch d
findung des Schiefspulvers, allein bei umfänglicheren Vers
wie man sie in England und Frankreich anstellte, erga
bei ihrer dermaligen Construction ihre Unanwendbark
den Krieg. Man fand nämlich, dafs diese Maschinen übe
zu grofse und zusammengesetzte schwere Apparate, selb
solchen, die nur kleine Geschosse forttrieben, erforderten
bei ihnen immer eine längere Zeit erforderlich ist, bi
Dampf in Wirksamkeit treten kann, und dafs die Percus
kraft der Geschosse weit geringer ausfällt als der
Schiefspulver fortgetriebenen. Auch hat Prechtl gründli
klar bewiesen (s. Prechtl's Jahrb. d. k. k. polytechn.
zu Wien IX. 1—42, so wie Zeitschr. f. Kunst, Wissensch
Geschichte des Krieges XVI 190), dafs die Wirkung des W
dampfes unter den uns bis jetzt bekannten Verhältniss
gröfsere Geschosse nie die Kraft unsers Schiefspulvers err
kann. (Die Perkins'sche Dampfmaschine nach ihrer urs
lichen Einrichtung findet man vollständig beschrieben un
gebildet in Gilbert's Annal. LXXV 119, 355, 361, und
Nachrichten über Versuche mit Perkins'schen Dampfgesch
in der allgem Milit. Zeitg. Jahrg. 1828 Nr. 39, 127, 327, 37
753; aufserdem enthält auch noch das neue Handwörterb
Chem. u. Phys. Bd. I. S. 541 eine mathematische Ableitung
die Wirksamkeit und Ausführbarkeit von dergleichen D
waffen, die insbesondere noch zum Nachlesen empfohlen
den kann.)

Was die Anwendbarkeit der Dampfmaschinen im Allg
nen betrifft, so besitzen dieselben vor allen andern Mas
den unschätzbaren Vorzug, dafs man sie überall da, w
nicht an dem erforderlichen Wasser und Brennmaterial
anwenden und die Kraft, auf einem gewissen Puncte ve
innerhalb ziemlich weiter Grenzen verstärken kann. Inso

dere aber sind sie mit dem gröfsten Vortheil alsdann anwendbar, wenn andere Triebkräfte, namentlich Wasserkraft, gar nicht, nicht hinreichend und aushaltend oder nur mit unverhältnifsmäfsig hohen Kosten zu erlangen sind. Vergleicht man aber in ökonomischer Hinsicht die Dampf- mit der Wasserkraft, so ist nicht allein und sogar weniger der Anlags- und Unterhaltungs-Aufwand in Betracht zu ziehen, da jener für die erste Gewinnung der Wasserkraft oft weit höher, der für die Unterhaltung dagegen fast immer sehr unbedeutend, bei der Dampfkraft dagegen dieses Verhältnifs ziemlich umgekehrt ist. Wo man eine gleichmäfsige ununterbrochene Kraft braucht, wie z. B. bei'm Bergbau, bei der Dampfschifffahrt, bei manchen Fabriken u. dergl., wird die Dampfmaschine immer den ersten Rang einnehmen, und nur ein stets geregelter und ganz sicherer Wasserzufluſs, wie er aber selten zu erlangen ist, kommt ihr bei solchen Fällen gleich; dagegen stellt sich ihre Anwendung da, wo die Arbeit nicht fortwährend, sondern täglich nur eine gewisse, vielleicht unbestimmte Zeit gefordert wird, wegen des durch oft wiederholte Abkühlung und Anfeuerung entstehenden Verlustes weniger vortheilhaft heraus. Die specielle Wahl der einen oder der andern Art der Dampfmaschinen hängt von mehren Umständen ab, z. B. von dem Zwecke, den man durch die Maschine erreichen will, von dem Standorte derselben, von der leichtern oder schwerern Erlangung von Arbeitern zur Erbauung und Abwartung, von dem Preise des Brennmaterials u. s. w.

Die älteren sogenannten atmosphärischen Maschinen mit niederem Druck eignen sich bei wohlfeilem Brennmaterial vorzüglich zur Förderung des Wassers aus Bergwerken, zur Wasserversorgung von Städten u. s. w., überhaupt zur Hebung gröfserer Wassermassen. Ihr Mechanismus ist sehr einfach, und da ihre Erbauung weniger Sorgfalt erheischt als die derjenigen, wo der Dampf durch Druck wirkt, so sind sie auch leichter von weniger geübten Arbeitern auszuführen und zu unterhalten; dagegen gewähren sie bei kleinen Dimensionen geringen Nutzen, indem der Kohlenverbrauch für Cylinder, die nicht über 25 Zoll Durchmesser haben, im Verhältnifs zum Nutzeffect bedeutend wächst.

Die einfach wirkenden Dampfmaschinen, bei denen der Druck des Dampfes nur einseitig thätig ist, sind in Folge ihrer Wirksamkeit ebenfalls nur auf Wasserhebung oder wenigstens auf solche Arbeiten beschränkt, die sich mit Unterbrechung der Kraftausübung bei der Rückkehr des Kolbens vertragen, und leisten zwar gewöhnlich nicht viel mehr als die gewöhnlichen atmosphärischen Maschinen, erfordern aber nur

etwa ⅓ oder ¼ so viel Brennmaterial und weniger Einspritzwasser als diese.

Die oben ihrer Construction nach näher beschriebenen und abgebildeten doppelt wirkenden Watt'schen Dampfmaschinen sind die gemeinnützigsten und zu allen Arbeiten geeignet, welche einer feststehenden Maschine zufallen, daher auch am allgemeinsten im Gebrauche. Sie haben eine sehr gleichförmige Bewegung und sind deshalb für den Betrieb von Mühlwerken, Fabrikmaschinen, überhaupt überall da passend, wo eine möglichste Stetigkeit der Bewegung nothwendig ist, und nur da in der Anwendung beschränkt, wo es schwer hält, das nöthige Einspritzwasser herbeizuschaffen. Es brauchen diese Maschinen einen kleineren Cylinder und weniger Brennmaterial als die einfach wirkenden Watt'schen und leisten deshalb mehr als diese, sobald beide mit vollem Dampfdruck arbeiten. In neuerer Zeit hat man sie selbst mit dem besten Erfolg auf gröfsern Dampfschiffen angewendet, während früher nur Hochdruckmaschinen für ausreichend gehalten wurden.

Expansions-Maschinen bedürfen noch weniger Brennmaterial als doppelt wirkende Watt'sche ohne Expansion, indem sie bei gleichem Kohlenverbrauch ungefähr doppelt so viel leisten als diese, oder wenn bei letzteren auch einiger Gebrauch von Expansion gemacht wird, so ist ihre Wirkung doch um die Hälfte oder wenigstens ein Drittel gröfser; auch läfst sich ihre Kraft bei nicht zu hoher Spannung der Dämpfe auf einige Zeit steigern, was bei der Watt'schen weniger gut geht, dagegen eignen sie sich nur für geradlinige Bewegungen, indem die Kraft nicht gleichförmig fortwirkt und Schwungräder zur Erzielung eines gleichförmigen Ganges sich ihrer nothwendigen Gröfse wegen nicht gut anbringen lassen; aufserdem sind sie in ihrer Construction zusammengesetzter, deshalb theurer, schwerer und häufiger Reparaturen unterworfen. Aus den angeführten Ursachen sind sie auch weniger in Aufnahme gekommen, und in England sollen sie in der neuern Zeit gröfstentheils wieder abgeschafft worden sein.

Alle Hochdruckmaschinen ohne Condensation sind in ihrem Mechanismus viel einfacher als die vorigen, nehmen weniger Raum ein und sind im Verhältnifs die leichtesten, erfordern dagegen das meiste Brennmaterial. Mit Nutzen werden sie überall da angewendet, wo die Maschine nicht viel Raum einnehmen soll und wo es an der erforderlichen Wassermenge zur Condensation fehlt oder diese nur mit zu unverhältnifsmäfsigem Aufwande an Kraft und Kosten herbeizuschaffen wäre. Ihre ausgebreitetste Anwendung haben sie in der neuesten Zeit bei den Dampfwagen (Locomotiven) gefunden, wo die Kolbenstangen der Cylinder mittels Krummzapfen unmittelbar auf die

am Boden sich stark reibenden Treibräder wirken und dadurch die Last fortbewegen. Kessel und Heizung sind für diese Maschinen eigens und sehr sinnreich eingerichtet, um möglichst schnell hinreichenden Dampf von hoher Spannung entwickeln zu können. Sie wiegen pro Pferdekraft 700 bis 800 Kilogramm (1500 bis 1700 Leipz. Pfd), während das Gewicht einer Watt'schen Maschine ungefähr das Doppelte beträgt. Der Ankauf stationärer Hochdruckmaschinen ohne Condensation ist wohlfeiler, dagegen ihre Unterhaltung theurer; sie machen nicht mehr Spiele als andere, ihre Kessel sind dem Springen weit mehr ausgesetzt, was bei ihnen am häufigsten durch zu hohe Spannung der Dämpfe und durch die oben erwähnte unregelmäfsige Speisung herbeigeführt werden kann. Bei manchen Maschinen dieser Art ist es aber von Nutzen, wenn die örtlichen Verhältnisse es gestatten, den gebrauchten und ausgetriebenen Dampf noch zur Erwärmung von Wasser, zu Trockenapparaten oder zur Heizung ganzer Gebäude zu verwenden. Oekonomischer als diese, als die atmosphärischen und die Watt'schen einfach wirkenden sind die Hochdruckmaschinen mit Condensation und Expansion, sobald nur die nöthige Wassermenge leicht zu haben und die etwas ungleich wirkende Kraft ohne Nachtheil ist; daher finden sie auch häufig Anwendung auf Dampfschiffen, wo es an Condensationswasser nicht mangelt.

Die Zahl der Dampfmaschinen vermehrt sich jährlich in wachsender Progression. Vor 50 bis 60 Jahren gab es noch nicht 100 Dampfmaschinen, und zu Anfang des Jahres 1838 schätzte man ihre Anzahl auf 200000, die ungefähr die Kraft von 4000000 Pferden ersetzen. Durch die sich immer mehr verbreitenden Eisenbahnen ist aber der Numerus der thätigen Dampfmaschinen gewifs schon viel bedeutender geworden und wird namentlich dadurch auch noch in der nächsten Zeit einen wesentlichen Zuwachs erhalten. — Eine der bis jetzt existirenden stärksten Dampfmaschinen ist unstreitig in den Bergwerken von Cornwall vorhanden. Sie hat die Kraft von 1010 Pferden und dient zum Fördern der Grubenwässer.

§. 426.

Die Wirkung der Dampfmaschinen wird gewöhnlich nach Pferdekräften angegeben. Dieses Kraftmafs datirt sich von ihrer ersten Anwendung in England, wo sie in den Steinkohlenwerken die Stelle der bis dahin in Anwendung gewesenen Pferde ersetzten. Man schätzte daher

ihre Leistungen nach dem Kraft-Momente eines Pferdes während der gewöhnlichen Arbeitszeit desselben (§. 33). Diese Mafseinheit, welche man eine Pferdekraft (Maschinenpferd, *cheval à vapeur*) genannt hat, wird aber verschieden angenommen, am häufigsten nach Watt zu 33000 engl. Pfd. auf eine Höhe von 1 engl. Fufs oder zu 4500 Kilogramm auf 1 Meter Höhe in der Minute zu heben. (S. Tab. III.)

In der Technik bezeichnet man diese Leistung durch 33000 Fufs-Pfund oder durch 4500 Kilogramm-Meter = *Km.* — Da aber bei diesen Angaben immer noch ein Zweifel darüber entstehen kann, was für Pferdekräfte oder welche Mafseinheit für 1 Pferdekraft gemeint sei, so dürfte die in neuerer Zeit unter den wissenschaftlichen Technikern Frankreichs immer mehr in Gebrauch kommende Abschätzung grofser dynamischer Effecte nach Dynamen, d. h. 100 Kilogramm pro Minute auf 1 Meter Höhe gehoben, wegen ihrer Bestimmtheit und Gemeinverständlichkeit eine allgemeine Beachtung und Annahme verdienen. — Aufserdem sei hier noch bemerkt, dafs diese angenommenen Nominalwerthe einer Pferdekraft keineswegs mit dem wirklichen Werthe derselben zusammenfallen, sobald es sich um eine längere als die gewöhnliche Arbeitszeit der Pferde handelt, und dafs man nicht glauben darf, die tägliche Arbeit von 20 Maschinenpferden durch die animalischen Kräfte von 20 Pferden wirklich ersetzen zu können. So zieht z. B. ein Pferd, an einem Göpel arbeitend, in der Minute 45 Kilogramm mit 54m Geschwindigkeit 8 Stunden, gewährt also eine tägliche Leistung von $45 . 54 . 8 . 60. = 1166400$ *Km.*, während die eines Maschinenpferdes $4500 . 24 . 60 = 6480000$ *Km.* entspricht.

Die absolute Wirkung der Dampfmaschine bestimmt sich aus dem Flächeninhalte oder Durchmesser des Kolbens, dem wirksamen Drucke auf ihn und der Geschwindigkeit desselben, welche die Producte der Höhe des Kolbenhubes (in Fufsen oder Metern) in der Zahl der Kolbenspiele pro Minute (ganzer, aus einem Auf- und Niedergange, und halber, blos aus einem von beiden bestehend) gleich ist. Vermindert wird sie durch die Reibung und durch den Kraftaufwand, der zur Bewegung der verschiedenen Ma-

schinentheile selbst nöthig ist; ferner durch den Widerstand der Dämpfe, welche nach der Verdichtung im Condensator noch verbleiben, da eine vollkommene Condensirung derselben nie möglich ist, wofür bei Hochdruckmaschinen ohne Condensation 1 Atmosphäre zu rechnen ist. Den wahren Nutzeffect einer Dampfmaschine findet man daher, wenn man von ihrer absoluten Wirkung die gesammte Hindernifslast (1) abzieht und dann durch den angenommenen Werth einer Pferdekraft oder einer Dynameneinheit dividirt.

1.) Die Hindernifslast ist nach der Construction der Dampfmaschinen verschieden, für die atmosphärischen Maschinen wird sie zu 0,52, bei einfachen Watt'schen und Hochdruckmaschinen ohne Condensation zu 0,4 und bei den doppelt wirkenden Watt'schen Maschinen zu 0,368, gewöhnlich aber im Mittel zu $\frac{1}{3}$ angenommen.

Folgendes Beispiel der Berechnung der Kraft einer doppelt wirkenden Watt'schen Dampfmaschine mag als Erläuterung des Vorangehenden dienen. — Beträgt die Spannkraft des Dampfes im Kessel $1\frac{1}{2}$ Atmosphäre und die Temperatur im Condensator 40° C, so hat in diesem der Dampf eine rückwirkende Kraft von 0,074 Atmosphäre (s. d. 22ste Tabelle), mithin verbleibt als wirksamer Dampfdruck auf die Kolbenfläche $1,5 - 0,074 = 1,426$ Atmosphäre. Hiervon die Hindernifslast von $\frac{1}{3}$ abgezogen, erhält man den wirklichen Nutzeffect, mit dem die Maschine arbeitet, zu $1,426 . \frac{2}{3} = 0,95$ Atmosphäre. Nimmt man bei der Maschine englisches Mafs und Gewicht an, wo gewöhnlich der Atmosphärendruck auf 1 Quad. Zoll zu 15 Pfd. gerechnet wird, so würde auf jedem Quad. Zoll der Kolbenoberfläche $0,95 . 15$ oder $14\frac{1}{4}$ Pfd., auf jedem Kreiszoll aber $0,785 . 14\frac{1}{4}$ oder 11, 2 Pfd. bewegende Kraft vorhanden sein. Hat nun der Kolben einen Durchmesser von 20 Zoll, so wirkt dieser mit einer Kraft von $20^2 . 11,2 = 4480$ Pfd.; beträgt ferner die Hubhöhe des Kolbens $3\frac{1}{2}$ Fufs, die Zahl seiner halben Spiele in 1 Minute 64, so ist dessen Geschwindigkeit $64 . 3\frac{1}{2} = 224$ Fufs. Diese Maschine vermöchte also $4480 . 224 = 1003520$ Pfd. 1 Fufs hoch in 1 Minute zu heben und würde daher eine Kraft von $\frac{1003520}{33000}$ oder ungefähr 30 Pferden besitzen.

Wäre es bei denselben Dimensionen eine Hochdruckmaschine, und arbeitete sie mit $4\frac{1}{2}$ Atmosphäre, so betrüge der Druck auf

der Kolbenfläche $3\frac{1}{2}$ Atmosphäre und nach Abzug des Kraftverlustes durch die Hindernifslast ihr Nutzeffect 3,5 — 0,4 = 3,1 Atmosphäre, oder 3, 1 . 15 = 46, 5 Pfd. auf den Quad. Zoll und 0,785. $46\frac{1}{2}$ = 36,5 Pfd. auf den Kreiszoll des Kolbens. Sie würde demnach mit einer reinen Kraft von 20". 36,5 = 14600 Pfd. und einer Geschwindigkeit von 2.4 Fufs arbeiten, hübe daher 14600 . 224 = 3270400 Fufs-Pfd., und hätte $\frac{3270400}{33000}$ oder ungefähr 100 Pferdekräfte.

Auf kürzerem Wege findet man die Zahl der Pferdekräfte durch folgende aus Vorigem abgeleitete Formel:

$$0{,}0000238\ d^2\ VP = n \text{ Pferdekräfte},$$

in welcher d der Durchmesser des Kolbens in Zollen, V die Geschwindigkeit desselben in 1 Minute nach Fufsen und P die Gröfse des Dampfdruckes, nach Abzug der Hindernifslast, auf den Quadr. Zoll, Alles nach englischem Mafs und Gewicht ausgedrückt. Eben so kann diese Formel auch dazu dienen, die Werth von d, V und P zu suchen, wenn die übrigen allgemeinen Gröfsen bekannt sind.

Doppelt wirkende Watt'sche Tiefdruckmaschinen arbeiten gewöhnlich, nach Abzug der gesammten Hindernifslast, im Mittel mit 1 Atmosphäre, oder nach englischem Mafs und Gewicht auf den Kreiszoll der Kolbenfläche mit 0,785 . 15 = 11,7 Pfd. absoluter Kraft und einer Geschwindigkeit von 200 Fufs in der Minute. Jeder Kreiszoll Kolbenfläche ersetzt also $\frac{11{,}7.\ 200}{33000}$ oder ungefähr $\frac{1}{14}$ Pferdekraft, wonach mithin die Kolbenfläche für jede Pferdekraft 14 Kreiszoll betragen mufs. Unter diesen Voraussetzungen würde daher der Kolben einer Dampfmaschine von 30 Pferdekräften 30 . 14 = 420 Kreiszoll, und einen Durchmesser von $\sqrt{420}$ oder ungefähr 20,4 Zoll erhalten müssen.

Bei allen Dampfmaschinen ist nun noch die Quantität des Brennmaterials zur Erzeugung der erforderlichen Dampfkraft einer der wichtigsten Gegenstände. Sie wird ebenfalls pro Pferdekraft bestimmt und ist abhängig theils von der Art und Güte des Brennmaterials selbst, theils von der Gröfse und Construction der Dampfmaschine, vorzüglich aber von der zweckmäfsigen Einrichtung der Kessel und ihrer Feuerung. Das wirksamste Brennmaterial sind gute Steinkohlen; ihnen zunächst stehen die Braunkohlen,

dann folgen Torf und Holz (1.) Gröfsere Dampfmaschinen erfordern bei sonst gleicher und guter Construction weniger Brennmaterial als kleinere; d. h. eine Dampfmaschine von 10 Pferdekräften braucht nicht so viel als 10 Dampfmaschinen von 1 Pferdekraft; ferner ist im Allgemeinen für Hochdruckmaschinen ein gröfseres Quantum Brennmaterial nöthig als für Tiefdruckmaschinen. Nach neuen Angaben (1838) über den Kohlenverbrauch bei französischen Dampfmaschinen stellt sich heraus, dafs man bei Tiefdruckmaschinen stündlich pro Pferdekraft im Mittel 3,8 Kilogramm, und bei Hochdruckmaschinen 6,42 Kilogramm guter Kohlen rechnen kann (polytechnisches Centralblatt 1839. S. 686).

1.) Wenn man den Werth der englischen Kohlen als Brennmaterial gleich 1 setzt, so ist, der Erfahrung nach, der der Lütticher gleich $\frac{8}{9}$ bis $\frac{1}{1}$, der der Dresdener zu $\frac{1}{2}$, der guter Braunkohlen zu $\frac{1}{1\frac{1}{2}}$ und der von Torf und Holz, bei gleichem Gewicht, im Mittel nur $\frac{1}{4}$ so grofs anzunehmen.

Von der grofsen Anzahl von Schriften, welche theilweise oder ganz von Dampfmaschinen handeln, mögen hier nur einige der neuesten und anerkannt beften aus der deutschen Litteratur angeführt werden.

Prechtl's technolog. Encyclopädie.

Poppe, populärer Unterricht über Dampfmaschinen, über die Anwendung derselben zum Treiben anderer Maschinen etc. nebst einer Geschichte des Maschinenwesens.

Bernoulli, Anfangsgründe der Dampfmaschinenlehre.

Lardner, die Dampfmaschinen, ein populäres Lehrbuch der Geschichte ihrer Erfindung etc. und der Grundsätze, nach welchen alle Arten von Dampfmaschinen zu beurtheilen und zu erbauen sind.

de Pambour, Theorie der Dampfmaschinen.

Gehler, phys. Wrtb. n. A. II. 417 bis 504.

Marbach, phys. Lex. I. 481 bis 574.

Baumgartner, Mechanik, S. 305.

Zeitschriften, in welchen man diesen Gegenstand vorzugsweise abgehandelt und die neuesten Erfindungen und Verbesserungen zusammengestellt findet, sind:

Dingler's polytech. Journal und das polytechnische Centralblatt.

Die Einrichtung der Schiffsdampfmaschinen, so wie der jetzt gebräuchlichsten Locomotiven, findet man besonders auch durch vortreffliche Holzschnitte versinnlicht in Pouillet's Lehrb. der Physik, übers. von Dr. Müller. I. Bd.

§. 427.

Die schon oben erwähnte Benutzung des Wasserdampfes zur Fortleitung der Wärme oder zur Erwärmung anderer Körper und Räume beruht auf dessen Eigenschaft, in der Berührung mit kalten Körpern sich zu condensiren, und dabei die beträchtliche Menge seiner gebundenen Wärme von 540° C. (§. 409 und 417) den kälteren Körpern mitzutheilen. Zur Heizung von Zimmern und anderen ähnlichen Räumen werden die Wasserdämpfe aus einem Dampfkessel, der eine ähnliche Construction wie der der Dampfmaschinen erhält, mittels Röhren in weitere Cylinder oder Röhren geleitet, die sich in den zu erwärmenden Räumen befinden, und welche die, durch Condensirung der in ihnen befindlichen Wasserdämpfe freiwerdende Wärme ihren Umgebungen mittheilen. Durch andere aus diesen Behältnissen fortgehende Röhren wird der zu Wasser abgekühlte Dampf dem Dampfkessel wieder zugeführt. Die Leitungsröhren sind bis zum Puncte ihres Bedarfs aus Materien von schlechter Wärmeleitung herzustellen und an diesen Stellen erst mit metallenen Cylindern oder Röhren zu vertauschen. Als vortheilhaft hat sich diese Heizmethode besonders da bewährt, wo grofse und zahlreiche Räumlichkeiten gleichmäfsig erwärmt werden sollen, wobei dann fast immer eine Ersparnifs an Brennmaterial gegen die gewöhnliche Ofenfeuerung erlangt wird, und vorzüglich da, wo es auf möglichste Beseitigung der Feuersgefahr, so wie des oft lästigen und nachtheiligen Rauches, ankommt.

In vorletzter Beziehung findet diese Heizmethode eine wichtige Anwendung zum Trocknen des Schiefspulvers, wobei dessen so leicht erfolgende Entzündung vermieden wird.

Da 1 Pfd. Dampf von + 100° C. 1 Pfd. Wasser von 0° bis zu + 540° C. zu erhitzen vermöchte, die Wärme-Capacität der atmosphärischen Luft aber nur 0,2669 von der des Wassers ist (s. d. XVII. Tab.), so folgt, dafs durch dieselbe Dampfmenge die Temperatur von 1 Pfd. eiskalter Luft, oder das 770fache Volumen Luft von dem des Wassers, auf $\frac{540}{0,2669} = 2023,2°$ C. gebracht werden würde, und dafs man die Temperatur eines Luftraumes, der $\frac{2023,2}{20} \cdot 770$ oder ungefähr 77770 Mal gröfser als das Volumen der verdampfenden Wassermasse wäre, um 20° C. erhöhen könnte.

Um die erforderliche Röhrenoberfläche O zu bestimmen, wodurch eine gewisse Menge von Cubikfufsen Luft V in einer Minute von der Temperatur t zur Temperatur T erwärmt werden soll, giebt Tredgold folgende, auf Centesimalgrade reducirte Formel an:

$$O = \frac{0,48\ V\ (T - t)}{93,3334 - T}$$

(s. Tredgold, Grundsätze der Dampfheizung, a. d. Englisch. von Kühn).

Clement giebt nach seinen hierüber gemachten Erfahrungen die nöthige Röhrenheizfläche für einen Zimmerraum von 100 Cub. Fufs in dem milderen Klima England's zu 1,5 Quad. Fufs, für das kältere nördliche Frankreich, welches mit unseren Gegenden ziemlich übereinstimmen würde, zu 1,66 Quad. Fufs an, wonach denn auf 60 Cub. Fufs Zimmerraum gerade 1 Quad. Fufs erforderlich ist.

Marbach, phys. Lex. III. 52.

§. 428.

Was endlich noch die ebenfalls schon oben angeführte Anwendung der Wasserdämpfe als Erweichungs- und Auflösemittel fester Körper betrifft, so beruht diese theils ebenfalls auf der bedeutenden Menge Wärme, welche sie gebunden enthalten und die bei gespannten Dämpfen, d. h. über der Temperatur der Siedehitze, beträchtlich zunimmt, theils aber auch noch auf ihrer Elasticität, so wie der leichten Verschiebbarkeit und Kleinheit ihrer Theilchen,

mit der sie, vermöge des nach allen Seiten gleichmäfsigen Druckes, in das Innere der zu erweichenden Körper eindringen und so diese selbst von einander trennen.

Die verschiedenen Einrichtungen der Dampfkochapparate gründen sich auf jene Eigenschaften der Wasserdämpfe. Im Allgemeinen besteht ihre Construction darin, dafs man den, entweder nur bei der gewöhnlichen Siedehitze erzeugten oder höher gespannten Wasserdampf eines Dampfkessels durch Röhren entweder unmittelbar zu den in verschlossenen Gefäfsen befindlichen zu erweichenden Körpern, oder blos um diese Gefäfse herum leitet.

Die erste derartige Benutzung der Wasserdämpfe lernte Papin schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts bei seinem Dampftopfe oder Digester kennen (s. §. 409, so wie Gehler, phys. Wrtb. II. 544 und Marbach, phys Lex. I. 607), in welchem das Wasser, über seinen Siedepunkt erhitzt, dadurch selbst Knochen erweicht und in Gallerte verwandelt.

Der Nutzen der Dampfkochung stellt sich hauptsächlich bei mehren technischen Operationen und bei beträchtlichen Oekonomieen, wie bei Casernirungen, Hospitälern und dergleichen Anstalten, heraus. (Die hierdurch zu erlangenden Vortheile findet man zusammengestellt in Fechner's Hauslexicon II. 413; aufserdem sind Apparate zur Dampfkochung beschrieben in Dingler's polytechnischem Journale V. 409, Buchner's Repert. III. 137. 221. und Schweigger's Journal XXXIV. 115.)

VIII. Von den verschiedenen Wärmequellen.

§. 429.

Die auf der Erde vorhandene Wärme entsteht, Erfahrungen zufolge, aus sehr verschiedenen Quellen. Die vorzüglichsten sind das Sonnenlicht, die Aenderung der Aggregatform, der Wärmecapacität und der chemischen Beschaffenheit der Körper, die Elektricität, die Eigenwärme der Erde, der Lebensprocefs und manche mechanische Wirkungen.

§. 430.

Das Sonnenlicht ist wohl die bekannteste und Hauptquelle der Wärme auf der Erdoberfläche. Eine sich überall und stets bestätigende Erfahrung ist es, dafs Körper im Sonnenlichte überhaupt eine höhere Temperatur annehmen. Die Gröfse dieser Temperaturerhöhung ist aber abhängig von dem Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen auf den Körper auffallen, von der Menge des Sonnenlichtes, welches sich auf einem Puncte vereinigt, von der Farbe des Lichtes und von dem Absorptionsvermögen der Körper zum Lichte.

Die Erwärmung eines Körpers durch Sonnenlicht fällt um so gröfser aus, je mehr sich der Winkel, unter dem die Sonnenstrahlen auf dessen Oberfläche fallen, dem rechten nähert, bei welchem diese endlich ihr Maximum erreicht; demnach verhält sich auch die Erwärmung gerade so, wie die Intensität der Erleuchtung (§. 290).

Hieraus an sich erklärlich ist die gröfsere Sonnenwärme zu Mittag, die geringere Morgens und Abends; ferner das Schmelzen des Schnees von den Seiten der Dächer, welche nach Mittag liegen, während diefs auf horizontalen Flächen nicht der Fall ist. Eben so folgt aus der veränderlichen Stellung der Erdaxe gegen die Sonne während ihres Laufes um dieselbe die bedeutend höhere und gleichförmigere Temperatur der Aequatorialgegenden, die geringere und verschiedenere der Polargegenden, so wie die gröfsere Wärme im Sommer, die geringere im Winter. Diese Erfolge sind aber auch zugleich von der Dauer der Einwirkung des Sonnenlichtes bedingt, denn bekanntlich tritt die gröfste Hitze nicht mit der Mittagszeit, sondern etwas später, und eben so die gröfste Wärme im Sommer erst in dem Monate ein, wo der Stand der Sonne über dem Horizonte schon wieder im Abnehmen ist.

Durch die Zurückwerfung und Brechung der Sonnenstrahlen wird es möglich, eine grofse Menge derselben auf einem Puncte zu vereinigen und in diesem eine Hitze zu erzeugen, bei welcher fast alle Körper schmelzen oder verflüchtigt werden. Hierauf beruht die Wirkung, Anwendung

und Benennung der Brennspiegel und Brenngläser (§. 300 und 316).

Erwähnung in dieser Beziehung verdienen der geschichtlich berühmt gewordene Brennspiegel (?) des Archimedes, so wie auch die Brennspiegel und Brenngläser Tschirnhausen's und Buffon's. Parker in London soll mit einem Brennglase von 3 Fufs Durchmesser und fast 7 Fufs Brennweite Platin, Nickel, Eisen, Smaragd, Asbest und andere strengflüssige Substanzen geschmolzen haben. (S. Gehler's phys. Wrtb. I. 1205 u. 1207, so wie Marbach's phys. Lex. I. 358 u. 362.)

Eine besondere Eigenschaft des Sonnenlichtes im Betreff der Wärmeerregung zeigt sich noch darin, dafs diese in einem gewissen Verhältnifs mit dessen Brechbarkeit steht, indem die stärkste Wärmeerregung in der Gegend des rothen Lichtes im Sonnenspectrum stattfindet, von wo nach beiden Seiten hin eine allmählige Abnahme stattfindet. Es wurde diese Eigenthümlichkeit bereits in dem Abschnitte vom Lichte (§. 363) und bei den Erscheinungen der Wärmestrahlung (§. 393) angeführt, weshalb hier auf jene dort vollständiger gegebene Erklärungen zurückverwiesen wird.

Je durchsichtiger ein Körper ist und je vollkommener er das Licht reflectirt, desto weniger wird er von Sonnenstrahlen erwärmt, und in dem Mafse, als er undurchsichtig und seine Oberfläche rauh ist, tritt eine stärkere Erwärmung ein. Auch die Farbe der Körper ist in dieser Beziehung von Einfluſs; die hellfarbigen werden weniger, die dunkelfarbigen mehr erwärmt, die weifsen daher am wenigsten, die schwarzen am meisten.

Es ist diefs ebenfalls eine im Allgemeinen bekannte Wirkung des Sonnenlichtes; daher wird es auch genügen, nur einige Beispiele als Belege anzuführen.

Unsere Luft als einer der durchsichtigsten Stoffe wird am wenigsten, das reinste Glas schon etwas mehr und in dem Grade, als es weniger durchsichtig ist, immer stärker erwärmt.

Polirte Metallflächen zeigen im Sonnenschein stets eine geringere Temperaturerhöhung, als wenn sie unpolirt oder rauh sind.

Der Franklin'sche Versuch mit verschiedenfarbigen Stückchen Tuch bestätigt in dieser Beziehung den verschiedenen Einfluſs der Körperfarben. — Legt man nämlich Tuchstückchen von verschiedenen Farben auf eine von der Sonne beschienene Schneefläche, so sinken die dunkelen tiefer ein als die hellen. — Hieraus erklärt sich auch, warum schwarze Kleidungsstücke im Sommer wärmer sind als hellfarbige. — In einem inwendig geschwärzten, mit einer Glasscheibe verschlossenen Kasten, welche gegen die Sonne gerichtet ist, kann man eine über die Siedehitze des Wassers gehende Wärme hervorbringen.

Am schnellsten und bestimmtesten läſst sich aber der Einfluſs der Körperfarben, der Oberflächenbeschaffenheit und der Durchsichtigkeit des Körperstoffs mittels eines Differenzial-Thermometers nachweisen, wie bereits bei dem zweiten Versuche des §. 390 beschrieben wurde.

Auch andere Lichtquellen zeigen analoge, nur in geringerem Grade energische Wärmewirkungen, wie aus den neueren Untersuchungen über Wärmestrahlung hervorgeht (§. 392 und 393); ob Wärme oder Wärmeerregung für die Natur jedes Lichtes nothwendige Bedingniſs sei, hat bis jetzt mit Sicherheit noch nicht entschieden werden können; daſs aber Licht seine, Wärme erregende Kraft verlieren und doch noch Licht bleiben könne, sehen wir auffallend am Mondlichte, und bewies Melloni auch am Sonnenlichte, nachdem er dasselbe durch eine Wasserschicht von hinlänglicher Dicke geleitet hatte.

Durch diese angeführten Thatsachen ist zwar genügend festgestellt, daſs Licht überhaupt und vorzüglich das Sonnenlicht zu den Hauptquellen der Wärme gehört, bis jetzt aber ist es noch nicht gelungen, eine evidente Erklärung über den Zusammenhang zwischen Wärme und Licht in dieser Beziehung zu geben, da dieſs eine genaue Kenntniſs der Natur der Wärme und des Lichtes voraussetzt, welches aber zufolge der nur darüber existirenden und zum Theil sich widerstreitenden Hypothesen nicht der Fall ist.

Am Schlusse dieses Abschnittes soll noch einiges hierauf sich Beziehende angeführt werden; auſserdem findet man die

Ansichten der berühmtesten Physiker hierüber zusammengestellt und beurtheilt in Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 168—215.

§. 431.

Ein auf der Erde unaufhörlich thätiger Wärmeproceſs iſt auch in der Aggregatumwandlung der Körper, in der Veränderung ihrer Wärmecapacität und in der chemiſchen Umwandlung derſelben vorhanden.

Aus dem Früheren (§. 404) iſt bereits bekannt, daſs, wenn ein luftförmiger Körper flüſſig oder ein flüſſiger ſtarr wird, diejenige Quantität Wärme ſtets entweicht, die er in dem frühern Aggregatzuſtande gebunden enthielt. Das Gegentheil aber erfolgt, wenn Körper die entgegengeſetzte Umwandlung ihrer Aggregatform eingehen.

Auf gleiche Weiſe wird Wärme frei, wenn ſich die Wärmecapacität eines Körpers vermindert (§. 403). Dieſes tritt ein, wenn ſich Körper durch einen äuſſern Druck verdichten oder durch chemiſche Einwirkungen ihre Capacität für die Wärme ändern. Im umgekehrten Falle entſteht auch hierbei die entgegengeſetzte Erſcheinung (als Beleg hierzu dienen die im 403. §. angeführten Verſuche). Beides aber, Wärmeausſcheidung und Wärmeverſchluckung, erfolgt um ſo bedeutender, je mehr und je ſchneller ſich die Körperſtoffe verdichten oder verdünnen laſſen. Diejenigen Metalle, welche ſich am bedeutendſten comprimiren laſſen, wie z. B. Kupfer, entwickeln dabei auch die meiſte Wärme. Da tropfbare Flüſſigkeiten unzuſammendrückbar ſind (§. 149), ſo entwickeln ſie auch nur unbedeutende Wärme, wogegen Gaſe dieſe Erſcheinung am bemerkbarſten zeigen.

Bei chemiſcher Umwandlung der Körperſtoffe tritt auch ſtets eine Aenderung ihrer Wärmecapacität ein. Dieſe wird herbeigeführt, indem entweder eine Aenderung in dem Volumen der Körpermaſſe erfolgt, oder indem ſie eine an-

dere Aggregatform annehmen, oder indem der sich neu bildende Körper eine andere Wärmecapacität erhält, als die desjenigen war, aus welchem er entstand. In allen den Fällen aber wird Wärme frei, wo die chemische Einwirkung den Körper verdichtet oder wo aus einem flüssigen Körper ein fester, aus einem gasformigen ein flüssiger oder fester Körper entsteht, oder endlich, wenn sich die Capacität des neubildenden Körpers vermindert. Diesem allgemeinen Gesetze widersprechend sind jedoch die Wärmeentwickelungen bei detonirenden Körpern (§. 82), wie z. B. bei'm Schiefspulver, wo sich das Freiwerden der Wärme wohl nur durch die elektrischen Thätigkeiten, die überhaupt bei allen chemischen Wirkungen eine Hauptrolle spielen, erklären läfst. Der bekannteste chemische Procefs, durch welchen wir selbst die intensivsten Wärmeentwickelungen hervorzubringen vermögen, ist die Verbrennung der Körper. Die Erklärung desselben im Allgemeinen ist bereits §. 82 gegeben worden, das Speciellere hierüber gehört aber der Chemie an, und es sollen daher hier nur noch einige Beispiele angegeben werden, welche zur Bestätigung des Vorangehenden dienen.

1.) Selbstzünder oder Pyrophore sind Körper, die sich durch Absorption und Verdichtung des Wassergases der Atmosphäre oder anderer Gasarten erhitzen und selbst in's Glühen gerathen.

Versuch. Der Platinschwamm (Platin in höchst feinem pulverigem porosem Zustande) ist gegenwärtig ein sehr bekannter pyrophorischer Körper. Er besitzt die Eigenschaft, in Berührung mit Wasser- und Sauerstoff diese Gase so begierig zu absorbiren und zu verdichten, dafs er selbst in's Glühen geräth und das Gasgemenge dadurch entzündet. — Diese Erscheinung wird erhalten, wenn man auf in einem Schälchen oder kleinen Glase liegenden Platinschwamm einen feinen Strom Wasserstoffgas, etwa aus einer damit gefüllten Thierblase leitet. — Auf dieser Eigenschaft beruht auch die jetzt ziemlich allgemeine Anwendung desselben bei den Wasserstofffeuerzeugen.

Eben so zeigt sich auch häufig der Pulverrückstand als ein ähnlicher Selbstzünder, indem er durch Absorption des Wassergases der Atmosphäre oder bei'm Anhauchen zum Glühen kommt. Künstlich erzeugt man (nach Döbereiner) diese Zusammensetzung durch starkes Glühen eines Gemenges von gebranntem Alaun (1 Th.), kohlensäuerlichem Kali (1½ Th.) und Kienruſs (½—1 Th.). Die Anfertigung anderer sicher und schnell wirkender Pyrophore findet man beschrieben in Dr. R. Böttger's Beiträgen zur Physik u. Chemie I. Hft. S. 37 u. II. Hft. S. 17. — Hierher gehört ferner noch die Erhitzung und Selbstentzündung frisch gebrannter Kohlen, feuchten Heus und Strohs, so wie geölter Wolle u. dergl., weshalb bei Aufbewahrung von solchen Dingen stets die gehörige Vorsicht zu beobachten ist.

2.) Ein Beispiel anderer Art ist die Erhitzung gebrannten Kalkes bei'm Befeuchten mit Wasser. Hier erklärt sich das Entbinden der Wärme aus der Bildung des Kalkhydrats, wobei das Wasser in die starre Form übergeht.

3.) Ein Gemenge von Wasser mit Schwefelsäure und eben so von Eisen und Schwefelsäure nimmt eine beträchtliche Temperaturerhöhung an.

4.) Die bekannten chlorsauren Kali-Schwefelhölzchen entzünden sich bei Berührung mit Schwefelsäure.

In den beiden letzten Fällen ist die chemische Einwirkung der Schwefelsäure auf die andern Körper die Ursache der Wärmeentwickelung.

§. 432.

Die Elektricität zeigt sich ebenfalls als eine sehr thätige Naturkraft zur Erregung von Wärme; das Nähere darüber kann aber erst in der Elektricitätslehre erklärt werden, wo sich zugleich zeigen wird, daſs der Elektrismus bei den verschiedenartigsten Naturprocessen im Spiele ist.

§. 433.

Die Eigen- oder Grundwärme der Erde ist die Wärmequelle, welche die feste Erdmasse in ihrem Innern zeigt. Namentlich in neuerer Zeit angestellte Beobachtungen setzen es aufser Zweifel, daſs die Temperatur der Erdmasse zunimmt, je tiefer man von der Oberfläche aus in ihr Inneres eindringt. Untersuchungen, deren Zweck es war, diese Temperaturzunahme zu ermitteln, wurden

an mehren Orten, vorzüglich in Bohrbrunnen und Bergwerken, angestellt.

Versuche dieser Art stellten in neuerer Zeit Prof. Reich zu Freiberg, Marcet, de la Rive, Erman und Magnus an. Das hierzu geeignetste Instrument ist der von Magnus erfundene Erd- oder Geothermometer, den man beschrieben und abgebildet findet in Marbach's phys. Lex. IV 695 und in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 980. Obschon nun aus diesen Untersuchungen bis jetzt noch kein festes Gesetz für diese Wärmezunahme aufgefunden wurde, so kann man doch nach den erhaltenen Resultaten als Mittelzahl annehmen, dafs bei einer Zunahme der Tiefe von 100 bis 130 Fufs die Temperatur um 1° C. steigt, wonach die Erde in der Tiefe von einigen Meilen die Temperatur der Glühhitze besitzen mufs.

Diese Wärme kann nicht von den Sonnenstrahlen, sondern mufs von irgend einer andern innern Ursache herrühren. Für die Annahme einer solchen innern Erdwärme sprechen aufserdem noch die vielen heifsen Quellen, welche aus den Tiefen der Erdrinde emporgetrieben werden, ferner die mannigfachen vulkanischen Erscheinungen, so wie die Abplattung der Erde, die sie nur angenommen haben kann, während sie in einem flüssigen oder weichen Zustande zu rotiren anfing (§. 52). Setzt man hierbei voraus, dafs sie diesen flüssigen Zustand der Wärme zu danken hatte, dafs sie also geschmolzen war, so wird mit dem allmäligen Festwerden auch immer Wärme frei, und dieses Freiwerden kann durch Jahrtausende fortgehen.

(S. Bischoff, die Wärmelehre des Innern des Erdkörpers etc. 2te Aufl. 1837; Gehler, phys. Wrtb. IX. 233—268.)

Von dieser Eigenwärme der Erde ist die Bodenwärme oder Temperatur der Erdoberfläche wohl zu unterscheiden. Diese ist hauptsächlich bedingt von der Einwirkung der Sonnenstrahlen und nimmt (aus den §. 430 angeführten Gründen) mit der geographischen Breite ab, wechselt mit den Tages- und Jahreszeiten, ist auf der nördlichen und östlichen Halbkugel der Erde gröfser als auf der süd-

lichen und westlichen, richtet sich aufserdem aber noch nach der Beschaffenheit des Bodens und der Erhebung über dem Meeresspiegel. Am veränderlichsten ist die Temperatur an der Oberfläche; die täglichen Temperaturänderungen reichen nur bis zu $1\frac{1}{2}$ Fufs Tiefe, die monatlichen bis zu 3 Fufs, die jährlichen etwa bis zu 30 Fufs.

Die unserer Atmosphäre eigene Wärme erhält dieselbe zum Theil von den durch sie gehenden Sonnenstrahlen, hauptsächlich aber durch Ausstrahlung und Mittheilung von der Bodenwärme. Sie ist deshalb wie letztere nach den geographischen und klimatischen Verhältnissen verschieden, indem sie nahe über der Erdoberfläche mit dieser übereinstimmend ist, von unten nach oben aber abnimmt. Ein bestimmtes Gesetz über diese Temperaturabnahme ist gleichfalls bis jetzt noch nicht aufgefunden worden, doch geht aus vielfachen Beobachtungen (von Saussure, Pictet, d'Aubuisson, v. Zach, Horner, Ramond, v. Humboldt, Playfair und Atkinson) als Mittel hervor, dafs bei jeder Erhebung von 492 Par. Fufs mehr eine Verminderung der Wärme von 1° C. stattfindet.

Aus der Veränderlichkeit der Boden- und Luftwärme folgt, dafs sich für jeden Ort nur aus sehr vielen Beobachtungen ein Mittelwerth, als sogenannte mittle Temperatur, bestimmen läfst. Vorzugsweise benutzt man dazu die Luftwärme in einer Höhe von 5—10 Fufs über der Bodenfläche. Die mittle Tagestemperatur findet man hinlänglich genau aus 4 Beobachtungen, die um 4 Uhr und 10 Uhr Morgens und Abends angestellt werden; die mittle Monatstemperatur ergiebt sich aus dem arithmetischen Mittel der täglichen, und die mittle Jahrestemperatur wird auf gleiche Weise aus den Monatstemperaturen oder mit fast gleicher Genauigkeit aus der mittlen Temperatur der Monate April und October bestimmt. Annähernd erhält man auch das tägliche Mittel aus der höchsten und niedrigsten Temperatur, welche ein Thermometrograph (§. 373) anzeigt, so wie vielfachen Beobachtungen zufolge die mittle Temperatur eines Ortes überhaupt die Bodenwärme in einer Tiefe von ungefähr 30 Fufs angiebt.

Verbindet man diejenigen Orte auf einer Erdkugel, welche gleiche mittle Temperatur haben, durch eine Linie, so erhält man eine sogenannte isothermische Linie. Wären die thermischen Verhältnisse nur durch die Einwirkungen der Sonnenstrahlen bedingt, so würden jene Linien sämmtlich mit dem Aequator parallel laufen, und die Temperaturen selbst müfsten dem Quadrate des Cosinus der geographischen Breite proportional sein; da diefs aber, wie bereits angeführt wurde, nicht der Fall ist, so bilden diese isothermischen Linien von den Parallelkreisen beträchtlich abweichende Curven. Im Allgemeinen weichen dieselben in Europa am weitesten nach Norden aus, weshalb es hier unter gleichen Breitengraden wärmer ist als in Amerika und Asien. Eine schöne Uebersicht der Verbreitung dieser gleichen Temperaturgrenzen über die ganze Erdoberfläche gewähren die von A. v. Humboldt zuerst ausgeführten isothermischen Karten.

Die neueste und vollständigste isothermische Karte ist die von Mahlmann. Sie ist enthalten in Dove's Repert. d. Phys. IV, so wie auch zugleich die thermischen Verhältnisse unsers Erdkörpers in diesem Bande eine vollständige und gründliche Bearbeitung gefunden haben. Eine besonders mühevolle, höchst dankenswerthe Abtheilung dieser Arbeit bildet eine tabellarische Zusammenstellung der mittlen Jahrestemperaturen aller Orte der Erde, wo bis jetzt Beobachtungen darüber angestellt wurden, mit Angabe ihrer geographischen Lage und Erhebung über dem Meere. Aufserdem findet man diese Gegenstände vollständig abgehandelt in Kämtz's Meteorologie II, so wie in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 268—551.

§. 434.

Der Lebensprocefs, die für uns noch wenig bekannte Naturkraft, welche das Bestehen und Leben aller organischen Körper bedingt, ist ebenfalls eine Hauptwärmequelle auf unserer Erde. Es ist nämlich eine bekannte Thatsache, dafs lebende thierische Körper eine Quelle der Wärme in sich haben und dafs ihre Temperatur von dem Wärmegrade ihrer Umgebungen fast unabhängig ist.

Die Temperatur des menschlichen Körpers zeigt sich im gesunden Zustande ziemlich constant zu + 29 bis 30° R. oder + 36 bis 37½° C., die äufsere Wärme mag gröfser oder kleiner sein, und bei manchen Thieren, z. B. den Vögeln, ist sie noch höher, gewöhnlich + 34° R. oder 42½° C.

Die Ursachen zu diesem sich so gleichförmig erhaltenden Temperaturzustande scheinen in den verschiedenen Functionen der Lebensthätigkeit, dem Athmungs- und Verdauungsprocesse, so wie in der Nerventhätigkeit zu liegen, indem bei beiden ersteren durch chemische Zusammensetzungen und Verbindungen, bei letzteren aber wahrscheinlich durch rein elektrische Thätigkeit die Wärmeentwickelung vor sich geht.

Auch das Pflanzenleben zeigt sich als eine constante, jedoch nicht so hohe und sich weniger gleich bleibende Wärmequelle.

Man sehe hierüber vorzüglich die organische Chemie von Liebig II. u. I. Bd., und Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 345—396.

§. 435.

Die mechanischen Mittel endlich, durch welche Körper erwärmt werden oder wodurch Wärme frei wird, bestehen hauptsächlich in den Einwirkungen, welche auf Körper durch Stofs, Schlag oder Reibung hervorgebracht werden.

In den ersteren Fällen läfst sich die frei werdende Wärme aus der Verdichtung des Körperstoffs, mithin aus der Verminderung seiner Wärmecapacität ableiten (§. 403). Kann ein Körper durch äufsern Druck oder Stofs nicht mehr verdichtet werden, so nimmt auch seine Temperatur nicht weiter zu. Den innern Verlauf der Sache bei Wärmeerregung durch Reibung kann man aber keineswegs durch so begründete Schlufsfolgen wie bei'm Stofse ableiten, sondern die Hauptsache scheint hierbei mehr in dem Wesen der uns allerdings noch nicht hinlänglich bekannten Wärmethätigkeit zu liegen.

Beispiele, welche für dieses Freiwerden und Erregen von Wärme dienen können, sind unter andern folgende;

Alle festen Körper, vorzüglich aber die Metalle, erhitzen sich durch Daraufschlagen oder bei einem heftigen Druck. — Eine Eisenstange kann durch bloſses Hämmern bis zum Glühen erhitzt werden; eben so zeigt sich eine beträchtliche Erhitzung bei'm Prägen der Metalle. — Bei den im Jahr 1834 zu Metz angestellten Versuchen über die Wirkung der Geschützkugeln gegen Mauerwerk entwickelten die Kugeln bei ihrem Eindringen in den Kalkstein, woraus die Mauer bestand, eine solche Hitze, daſs der sie umgebende Kalkstein wie gebrannt erschien, die Kugel selbst aber war nach einer Stunde noch so heiſs, daſs man sich daran verbrannte. (Handbibliothek f. Officiere. Waffenlehre, 2te. Aufl. S. 230.)

Gase können wegen ihrer bedeutenden Compressibilität sehr stark erhitzt werden, und es läſst sich der Grad ihrer Temperaturerhöhung dabei selbst (nach §. 401) berechnen, so wie das im ersten Versuche zu §. 403 beschriebene pneumatische Feuerzeug für die atmosphärische Luft einen sehr deutlichen Beweis liefert.

Die Entzündung der verschiedenen Knallpulver und Knallsalze durch einen Schlag oder auch durch einen bloſsen Druck.

Das gewöhnliche Feuerschlagen durch Stahl und Stein.

Stählerne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, Feilen u. dergl., erhitzen sich bei ihrem Gebrauche. — Das Feuermachen der Wilden durch das Aneinanderreiben zweier Holzstücke. — Dieselbe Ursache bewirkt auch das Erhitzen der Achsen der Fuhrwerke, der Zapfen gröſserer Maschinen, so wie das der Radschuhe und sich schnell reibender Seile, weshalb, um hierbei Entzündungen zu vermeiden, das Schmieren der Achsen und Zapfen der Maschinen und das Nässen der Seile und hölzernen Radschuhe nothwendig wird. — Eben so werden die Metallspäne bei'm Ausbohren der Geschütze so heiſs, daſs sie auf der menschlichen Haut Brandblasen erzeugen.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 2ä5—236.

IX. Schluſsbetrachtungen über das Wesen des Lichtes und der Wärme.

§. 436.

Schon zu Anfang der Wärmelehre (§. 367) wurden die verschiedenen Ansichten über das Wesen der Wärme kurz erwähnt. Nachdem wir nun die bis jetzt bekannten Erscheinungen dieser Naturthätigkeit kennen gelernt haben, wird man auch richtiger beurtheilen können, in wieweit dieselben danach eine genügende Erklärung finden; zugleich

sollen aber auch bei dieser Gelegenheit die bedeutenden Analogieen zusammengestellt werden, die sich zwischen dem Wesen des Lichtes und der Wärme vorfinden zeigen.

Nach den älteren Hypothesen schrieb man die verschiedenen Wärmephänomene einem besondern Wärmestoffe zu, welcher in seinem Verhalten zwar manche Aehnlichkeit mit dem hypothetisch angenommenen Lichtstoffe, aber keineswegs eine so grofse habe, dafs man ihn als eine blofse Modification desselben annehmen könne, sondern als einen specifisch verschiedenen Stoff ansehen müsse. Diesen Wärmestoff hält man für eine äufserst feine, höchst elastische Flüssigkeit, der aber die primitiven Eigenschaften aller andern materiellen Dinge, wie Schwere, Undurchdringlichkeit u. s. w., abgehen. Alle Körper sollen diesen hypothetischen Wärmestoff in einer bestimmten, aber verschiedenen Menge enthalten, und überhaupt die Körperstoffe zu demselben eine verschiedene und veränderliche Anziehkraft besitzen. — Die meisten der Wärmephänomene lassen sich nach dieser Ansicht auch genügend erklären, jedoch nicht alle, wie z. B. die Wärmestrahlung bei allen Temperaturen, indem es hierbei erwiesen ist, dafs auch aus Körpern, die eine geringere Temperatur haben als ihre Umgebungen, Wärme ausströmt, dann die ununterbrochene Wärmeentwickelung durch Reibung und Elektricität, welches wahre Wärmequellen sind und nach dieser Ansicht gar keine genügende Erklärung finden, so wie endlich auch die grofse Aehnlichkeit, welche zwischen den meisten Licht- und Wärmeerscheinungen stattfindet, bei dieser Annahme nicht wohl erklärlich ist, sobald man sich bei den ersteren für die Undulations-Theorie ausspricht.

Nach einer zweiten, weit gangbareren Hypothese sollen Licht und Wärme dem Wesen nach identische Thätigkeiten sein, die sich uns nur durch verschiedene Wirkungs-

weisen offenbaren und wechselseitig in einander übergehen. Jener Annahme zufolge erschiene uns nämlich diese Naturthätigkeit als Licht, wenn sie sich im Zustande der freiesten Bewegung befindet, als Wärme dagegen, wenn das Licht durch Einwirkung der Körper seiner freien und schnellen Bewegung beraubt wird. Erscheinungen, welche für diese Ansicht sprechen, sind folgende: Das Licht bringt Wärme hervor, und zwar desto mehr, je mehr es nicht allein concentrirt, sondern auch seiner Strahlung beraubt, mithin von den Körpern absorbirt wird (§. 390). Alle Körper beginnen zu leuchten, sobald ihre Erwärmung auf einen gewissen, bei verschiedenen Körpern verschiedenen Grad gesteigert werden kann. Die strahlende Wärme befolgt bei ihrer Bewegung ganz die Gesetze des Lichtes (§. 385—394) und ist vielleicht schon Licht für ein Auge, welches dafür empfänglicher ist als das menschliche. Wo immer Lichterscheinungen wahrgenommen werden, sind diese keineswegs, obgleich es angenommen wird, ganz ohne Wärmeerscheinungen vorhanden, sondern sind mit ihnen entweder zugleich verbunden oder eine Folge oder eine Ursache derselben.

Eine dritte Hypothese, welche gegenwärtig immer mehr Anhänger zu erhalten scheint, ist gewissermafsen eine Verschmelzung der beiden vorher angeführten. Nach ihr giebt der hypothetisch angenommene Aether das Substrat für sämmtliche Licht- und Wärmeerscheinungen ab, beide entspringen aus den schwingenden Bewegungen desselben und erscheinen uns als Phänomene der Wärme, sobald sie eine geringere Geschwindigkeit annehmen (§. 386 und 394) und sich den Molekulen der Körper mittheilen.

Professor Baumgartner spricht sich darüber folgendermafsen aus: Wenn man die Wärmeerscheinungen mit denen des Lichtes und Schalles vergleicht, so findet man

eine sehr grofse Uebereinstimmung zwischen denselben. Licht und Wärme existiren häufig in demselben Körper gleichzeitig und begleiten sich gegenseitig. Wärme und Licht erleiden dieselben Veränderungen und befolgen dieselben Gesetze. Beide pflanzen sich im leeren Raume und in der Luft von gleicher Dichte geradlinig, mit ungeheuerer Geschwindigkeit fort, beide werden gebrochen, zerstreut, reflectirt, polarisirt, absorbirt etc. und beide im Allgemeinen nach denselben Gesetzen. Zwischen Wärme und Schall, von welchem letzteren es erwiesen ist, dafs er eine Folge der Vibrationen der Körpertheilchen ist, zeigen sich folgende Uebereinstimmungen. Beide werden durch Reiben erregt und Körpern mitgetheilt; beide pflanzen sich strahlend fort; beide erleiden Reflexionen, und beide werden bei'm Uebergange von einem Mittel in's andere geschwächt. Gleichwie Schallstrahlen einen Körper zum Tönen bringen können, eben so vermögen Wärmestrahlen Körper zu erwärmen; während ein Körper mitklingt, pflanzt sich auch der Klang durch ihn fort, und während ein Körper durch einen andern erwärmt wird, giebt er auch Wärme an die Umgebung ab. Da nun unwidersprechlich bewiesen ist, dafs das Wesen des Schalles in Schwingungen bestehe, ja eine strahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, indem die Erfahrung keine Flüssigkeit zeigt, deren Theile strahlend (in gerader Linie) fortschreiten, so fordern die Regeln der Analogie, anzunehmen, das Wesen der Wärme bestehe so wie das des Schalles und Lichtes in einer vibrirenden Bewegung, und zwar die des Schalles in den vibrirenden Schwingungen der Theilchen dazu geeigneter Körperstoffe, die des Lichtes und der Wärme aber in den Wellenbewegungen des Aethers. Bei'm Lichte erfolgen die Schwingungen mit gröfserer Geschwindigkeit als bei der Wärme, jene wirken auf den Sehnerv als Licht,

so wie die vibrirenden Bewegungen tönender Körper als Schall auf die Gehörnerven ein, während der langsamer schwingende Aether auf das Gemeingefühl die Empfindung von Wärme oder Kälte erzeugen kann, ungefähr eben so, wie ein schwingender Körper nicht mehr gehört wird, seine Bewegungen wohl aber noch gesehen oder gefühlt werden können. Ob aber die Schwingungen des Aethers oder jene der Körpertheile oder beide zusammen den Grund der Wärmephänomene enthalten, darüber sind selbst die Vertheidiger dieser Ansicht nicht einig.

Eine merkwürdige, für diese Ansicht sprechende Erscheinung ist das Tönen erhitzter Metalle unter begünstigenden Umständen. Der hierzu geeignetste Apparat ist das nach dem Erfinder benannte Trevelyan-Instrument, bezeichnender das Thermophon oder der Wärmetöner. Es besteht dasselbe aus einem erhitzten metallenen, gewöhnlich messingenen Körper, der, auf einen kalten Bleiklotz gelegt, diesem nach und nach seine Wärme mittheilt. Während sich jener erhitzte metallene Körper abkühlt, geräth er durch seine pulsatorischen Zusammenziehungen in schwingende und sogar tönende Bewegung, welche aber aufhört, sobald sich die Temperatur in den beiden im Contact befindlichen Körpern ausgleicht. — Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenartigen Einrichtung dieses Instrumentes, so wie aller hierhergehörigen Erscheinungen und ihre Erklärung befindet sich in Dove's Repert. d. Phys. VI. 31—57; aufserdem auch in Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. 508—518, und in Marbach's phys. Lex. IV. 382.

Ueberblickt man alle die mannigfachen Erscheinungen des Lichtes und der Wärme, so finden sich unter diesen immer noch einige, die entweder nach der einen oder der andern dieser Theorieen nicht völlig befriedigende Erklärungen finden, und man mufs wohl annehmen, dafs bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse das räthselhafte Wesen beider Naturthätigkeiten immer noch nicht so gründlich erforscht ist, dafs man mit apodiktischer Gewifsheit die eine oder die andere Ansicht als die wahre und richtige betrachten könnte, und es ist überhaupt nothwendig, gegenwärtig vorsichtiger, als von den Naturforschern früherer Zeit geschehen,

in der bestimmten Annahme über das Wesen irgend einer Naturthätigkeit zu verfahren, da durch die fortgesetzten Kenntnisse die grosse Menge der Erscheinungen sich weit schwerer als die kleine Zahl der chemals bekannten nach einer oder der andern Hypothese vollkommen befriedigend erklären läßt.

Eine vollständige, zugleich kritisirende Zusammenstellung der verschiedenen Meinungen über das Wesen der Wärme und des Lichtes, so wie insbesondere über die Erregung von Wärme durch das Licht der Sonne, findet man in Gehler's phys. Wrth. n. A. X. 54—103, 127—215; aufserdem reiht sich hieran noch die kürzlich bekannt gewordene Ansicht Melloni's, welcher sich mit Bestimmtheit für die Identität des Lichtes und der Wärme ausspricht und auch die chemische Wirksamkeit des Lichtes aus derselben Grundursache, nämlich aus den Undulationen des Aethers, herleitet. (S. Poggendorf's Annal. LVII. 300.)

Dritter Abschnitt.

Der Magnetismus.

1. Von den Erscheinungen und Wirkungen des Magnetismus im Allgemeinen.

§. 437.

Wenn wir in den beiden vorangehenden Abschnitten, welche von den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme handelten, gesehen haben, dafs gewisse Sinne des menschlichen Organismus durch jene Naturthätigkeiten afficirt werden, so unterscheidet sich die nun auf gleiche Weise zu prüfende Potenz, der Magnetismus, wesentlich dadurch, dafs er auf keines unserer Nervensysteme einen unmittelbaren Einfluſs ausübt. Die bekanntesten Wirkungen, welche Körper, in denen diese Kraft vorhanden und thätig ist, ausüben, bestehen darin, dafs von ihnen einige Metalle angezogen werden, dafs sie gegenseitig auf einander theils anziehend, theils abstoſsend einwirken, und dafs sie das Bestreben zeigen, ihre Masse immer in eine gewisse Richtung zu versetzen.

Ungeachtet dieser einseitigen, einfachen und gewissermafsen isolirten Grundwirkungen so wie noch einiger andern davon abhängigen Erscheinungen mufste uns doch die physische Ursache davon aus dem Grunde vorzüglich dunkel bleiben, weil sich zwischen dieser und den übrigen in der Natur thätigen Potenzen eine gesetzliche Wechselwirkung nicht auffinden liefs. Erst in den neuern Zeiten hat sich in dieser Beziehung die Summe unserer Erfahrung bedeutend vermehrt, da sich nament-

lich durch die Entdeckung des Elektromagnetismus und Magnetoelektrismus (wovon die letzten Abschnitte handeln) eine unverkennbare gegenseitige Einwirkung dieser Kraft mit dem Elektrismus und selbst auch mit dem Lichte und der Wärme herausstellt. Es erscheint deshalb auch die Vermuthung nicht mehr zu gewagt, dafs dem Magnetismus noch eine wichtigere und ausgedehntere Wirkungssphäre als seine uns bis jetzt bekannte attractorische und repulsive Kraftäufserung angewiesen ist, dafs vielleicht manche Erscheinung, manche Wirkung ihren Grundquell in ihm hat, ohne dafs wir aber bis jetzt den Zusammenhang damit erkennen und nachweisen konnten. Wichtige Aufschlüsse haben wir vorzüglich von den ausgedehnten, umfassenden und höchst genauen magnetischen Beobachtungen und Versuchen zu erwarten, welche erst seit wenigen Jahren durch den für die Naturwissenschaften unermüdet thätigen Alexander v. Humboldt in's Leben gerufen wurden.

Kenntnifs von dem Vorhandensein der magnetischen Kraft hatte man schon in der frühesten Vorzeit (s. Gehler's phys. Wrtb. VI. 639), aber man kannte von ihr nur das Anziehen und Festhalten des Eisens durch gewisse Steine, die in der Gegend der Stadt Magnesia in Lydien gefunden wurden und wonach man auch die Benennung dieser Steine als Magnete abgeleitet zu haben scheint. Erst später (im 14. Jahrhundert), als man auch künstliche Magnete darstellen lernte und dadurch zu der wichtigen Erfindung der Magnetnadel kam, erlangte diese Kenntnifs eine höhere Bedeutung. Die Fortschritte, welche seit dieser Zeit in allen Zweigen der Naturwissenschaften gemacht wurden, führten auch zu weitern Untersuchungen, namentlich über die Gesetzlichkeit der magnetischen Wirkungen, wodurch endlich der Standpunct unserer gegenwärtigen Kenntnisse von dieser auf unserer Erde so verbreiteten Naturkraft erreicht worden ist.

II. Magnetismus des Eisenerzes und des Stahles.

§. 438.

Körper, an welche diese Kraft gefesselt zu sein scheint, nennt man Magnete. Man erkennt sie an den bereits angeführten Grundwirkungen dieser Kraft. Sie ziehen nämlich schon von gewissen, aber verschiedenen Entfernungen aus zunächst Eisen, Stahl, Nickel und Kobalt, andere Körper aber vorzüglich nur dann an, wenn sie Antheile von

Eisen enthalten, wie dieſs bei mehren Mineralien der Fall ist. Geht die Anziehung in eine völlige Berührung über, so hält der Magnet den angezogenen Körper mit einer, von manchen Nebenumständen abhängenden, schwächern oder stärkern Kraft fest. Versetzt man aber einen Magnet in einen solchen Zustand, daſs sich seine Masse frei bewegen kann, so nimmt diese stets eine bestimmte Lage zu den Weltgegenden an.

Man unterscheidet **natürliche und künstliche Magnete.** Erstere sind gewisse Eisenerze, die sogenannten **Magneteisensteine**, von denen einzelne Stücke, so wie man sie auf oder zunächst unter der Erdoberfläche vorfindet, diese Eigenschaft besitzen, die man dann **attractorische Magneteisensteine** nennt; letztere dagegen sind gewöhnlich aus Stahl verfertigte und verschieden gestaltete Körper, denen man durch mancherlei Mittel und durch eine gewisse Behandlung, wovon später noch die Rede sein wird, die magnetische Kraft mittheilt und die nach ihren Formen und Zusammensetzungen besondere Benennungen erhalten. Diejenigen künstlichen Magnete, denen man eine solche Einrichtung gegeben hat, daſs sie sich frei und leicht bewegen und dadurch die oben erwähnte bestimmte Richtung annehmen können, nennt man im Allgemeinen **Magnetnadeln**, deren es aber auch wieder mehre Arten giebt, welche später noch eine besondere Beschreibung finden werden.

Der Magneteisenstein ist eine chemische Verbindung von Eisenoxyd und Eisenoxydul (Fe Fe), welche sich, namentlich in den nördlichen Theilen der Erde, Nordamerika, Norwegen, Sibirien etc., sehr verbreitet findet, und in manchen der genannten Gegenden ist das Mineral in solcher Menge vorhanden, daſs es ganze Berge bildet, und, als ein Magnet im Ganzen gedacht, von ungeheuerer Wirkung sein müſste. Allein nach vielfältigen Beobachtungen zeigt sich dieses Erz im Innern seiner Lagerstätten nicht magnetisch, sondern nur da in einzelnen

Stücken, wo es zu Tage ausgeht. (S. Gehler's phys. Wrtb. VI. 640—655.)

Wie schon erwähnt, kann die Gestalt künstlicher Magnete sehr verschieden sein. Ist es ein gerader, runder oder eckiger Stahlstab, so nennt man einen solchen Magnet einen Magnetstab; ist aber der Stab hufeisenförmig gekrümmt, so heifst er ein Hufeisen-Magnet. Aus der Zusammensetzung mehrer Magnetstäbe oder gleicher Hufeisen-Magnete entstehen die sogenannten magnetischen Magazine oder Batterieen.

§. 439.

Bei der schon angeführten Grundwirkung aller Magnete, der Anziehung, befinden sich diese und der angezogene Körper in Wechselwirkung, d. h. der Magnet zieht z. B. eben sowohl Eisen an, wie dieses den Magnet anzieht.

Folgende Versuche werden dieſs bestätigen:

Erster Versuch. Man hänge an einen Cocon- oder ungedrehten Seidenfaden ein Stückchen Eisendraht horizontal schwebend auf. — Nähert man einem Ende desselben einen hinlänglich starken Magnet, so erfolgt von diesem aus eine Anziehung gegen das Eisen.

Zweiter Versuch. Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man statt des Eisendrahtes auf gleiche Weise eine magnetische Nähnadel aufhängt und dieser ein Stück Eisen nähert.

§. 440.

Die magnetische Anziehung durchdringt ohne Schwächung alle feste und flüssige Körper, verdünnte oder verdichtete Gase; nur diejenigen Körper machen hiervon eine Ausnahme, welche selbst magnetisch werden können, wie dieſs namentlich bei'm Eisen der Fall ist.

Erster Versuch. Man wird dieſs bestätigt finden, wenn man bei den, im vorigen §. angeführten Versuchen zwischen die beiden sich anziehenden Körper irgend einen andern Körper bringt, z. B. eine Glas-, Holz- oder Metallplatte, nur nicht eine von Eisen oder Stahl, oder auch eine in einer Flasche befindliche Flüssigkeit.

Zweiter Versuch. Man streue etwas Eisenfeil auf irgend einen flächenförmigen Körper. — Sobald unter demselben ein Magnet herumgeführt wird, so sieht man diesem gegenüber die Eisenfeile in Bewegung gerathen.

Dritter Versuch. Hält man zwischen ein Stück frei schwebenden Eisendraht eine Eisenplatte und nähert hinter dieser dem Drahte einen Magnet, so wird man nur wenig oder gar keine Attractionswirkung wahrnehmen.

§. 441.

Diese attractorische Kraftäufserung geht nicht von allen Puncten der Oberfläche eines Magnets mit gleicher Intensität aus. Gewöhnlich zeigt sie sich vorzugsweise nur an zwei Stellen, während sie an andern geringer oder gar nicht vorhanden ist. Diese Stellen nennt man die **Pole des Magnets** und eine zwischen ihnen gedachte gerade Linie die **magnetische Axe**.

Die Pole geben sich dadurch zu erkennen, dafs von ihnen Eisenfeile am stärksten und beträchtlichsten angezogen wird, und dafs bei einem freibeweglichen Magnet oder bei einer Magnetnadel die magnetische Axe im Zustande der Ruhe ungefähr die Lage von Süd nach Nord annimmt, sich also ziemlich in der Lage des geographischen Meridians fixirt. Der Pol, welcher dann bei dieser Lage nach Norden gerichtet ist, wird gewöhnlich der **Nordpol**, der nach Süden gerichtete der **Südpol** genannt.

Magnete, welche mehr als zwei Pole haben, nennt man **anomale Magnete**, und die in ihrer Axe abwechselnd auf einander folgenden Nord- und Südpole heifsen die **Folgepuncte**.

Erster Versuch. Man bestreue einen natürlichen oder künstlichen Magnet mit Eisenfeile. — An den Polen werden diese in der beträchtlichsten Menge hängen bleiben, während sie von den übrigen Theilen gröfstentheils wieder abfallen.

Dieses Hängenbleiben der Eisenfeile giebt zugleich ein Mittel an die Hand, um dadurch an einem natürlichen Magnete seine Pole aufzufinden. Werden dann die beiden hierdurch aufgefundenen Polseiten des natürlichen Magnets eben geschliffen, mit weichen Eisenplatten belegt, welche sich nach einer Seite hin in zwei vorstehende stärkere Ansätze endigen, so

nennt man einen solchen Magneteisenstein einen armirten Magnet. Die magnetische Kraft, welche sich hierdurch den beiden Eisenplatten mittheilt, wird gleichsam in den beiden verstärkten Ansätzen concentrirt und bildet dort einen Nordpol und einen Südpol.

Zweiter Versuch. Giebt man einem natürlichen oder künstlichen Magnete, z. B. durch Aufhängen an einem Faden, eine solche Lage, dafs sich seine Pole frei in einer Horizontalebene bewegen können, so wird man stets wahrnehmen, dafs dessen Axe die angeführte polare Stellung annimmt.

§. 442.

Bei näherer Prüfung der an den Polen hervortretenden Kraft findet man, dafs jeder Pol für sich die schon genannten attractionsfähigen Stoffe anzieht. Wirken aber zwei Magnete auf einander ein, so zeigt sich entweder Anziehung oder Abstofsung zwischen ihnen. Anziehung tritt nämlich nur zwischen ihren ungleichnamigen Polen, zwischen Nord- und Südpol, Abstofsung aber zwischen den gleichnamigen Polen ein, nämlich zwischen Nordpol und Nordpol, so wie zwischen Südpol und Südpol; daher heifst das magnetische Attractionsgesetz: die ungleichnamigen Pole der Magnete ziehen einander an, die gleichnamigen aber stofsen sich ab.

Sind auf diese Weise zwei ungleichnamige Pole mit einander in Berührung gekommen, so zeigen dann beide Magnete an dieser Vereinigungsstelle entweder gar keine oder eine geringere attractorische Kraft; es hat sich gleichsam die Kraft der beiden Pole gegenseitig ganz oder zum Theil aufgehoben. Um diesen Gegensatz auf ähnliche Weise, wie dieſs in der Mathematik mit entgegengesetzten Gröfsen geschieht, zu bezeichnen, nennt man auch die an dem Nordpol eines Magnets sich äufsernde Kraft positiven Magnetismus oder + M., dagegen die am Südpol vorhandene negativen Magnetismus oder — M.

Erster Versuch. Beide Enden eines in einer horizontalen Ebene frei beweglichen Eisendrahtes werden von beiden Polen eines Magnets auf gleiche Weise angezogen.

Zweiter Versuch. Ist die horizontal bewegliche Nadel aber eine magnetische Stahlnadel, so wird man bei einem genäherten Magnet finden, dafs stets nur der ungleichnamige Pol derselben von dem des genäherten Magnets angezogen, der gleichnamige aber abgestofsen wird. — Auf ähnliche Weise läfst sich diefs auch an einer magnetisirten Nähnadel nachweisen, die man an ihrem Oehre mittels eines Fadens aufgehängt hat.

Dritter Versuch. An den Arm eines Wagebalkens hänge man einen Magnetstab so auf, dafs seine Axe vertical herabhängt, und bringe ihn an der Wage in's Gleichgewicht. — Wenn man nun dem untern Pole des Magnets den Pol eines andern nähert, so wird man finden, dafs, wenn der genäherte Pol des Magnets der gleichnamige ist, der Arm des Wagebalkens mit dem Magnete in die Höhe geht oder zurückgestofsen wird, sobald man aber den ungleichnamigen Pol in die Nähe bringt, der Magnet am Wagebalken sinkt, also angezogen wird

Vierter Versuch. Man hänge ein Stück Eisen, vielleicht einen Schlüssel, an den Nordpol eines Magnets und bringe dann an diesen den Südpol eines andern eben so starken Magnets. — Der Schlüssel wird augenblicklich abfallen; es neutralisiren sich nämlich dann + M. und — M.

Fünfter Versuch. Man lasse die Pole zweier Magnete Eisenfeile anziehen. — Nähert man die gleichnamigen Pole einander, so lassen beide den gröfsten Theil der Eisenfeile fallen, bringt man aber die ungleichnamigen Pole einander nahe, so bewegen sich die Eisenfeile einander entgegen und vereinigen sich.

In Folge dieser Erscheinung hat man auch die gleichnamigen Pole feindliche, die ungleichnamigen freundschaftliche Pole genannt.

Auf dieser gegenseitigen Einwirkung magnetischer Körper beruhen auch die verschiedenen magnetischen Spielwerke und Kunststücke, wie man sie vorzüglich in Wiegleb's Magie, fortgesetzt von Rosenthal, beschrieben findet.

Untersucht man ferner auch noch die attractorische Kraft eines Magnets auf der ganzen Längenausdehnung seiner Axe, so wird man finden, dafs diese von jedem Pole nach der Mitte hin allmählig abnimmt, und dafs in

dieser Nähe ein Punct vorhanden ist, wo alle Attraction verschwindet. Dieser Punct wird der **Indifferenzpunct** genannt.

Jene Abnahme der Anziehkraft von den Polen abwärts bemerkt man schon an einem Magnetstäbchen, sobald man dieses mit Eisenfeile bestreut; um aber die Gegend des Indifferenzpunctes aufzufinden und zugleich die Abnahme so wie den Wechsel von + M. und — M. nachzuweisen, kann man folgenden Versuch anstellen:

Sechster Versuch. Ueber einen horizontal liegenden Magnetstab bringe man eine, in einer gewöhnlichen Arzneiflasche, deren Boden abgesprengt wurde, an einem offenen Seidenfaden horizontal schwebende, kleine, magnetisirte Nähnadel, so dafs diese bei dem Aufsetzen des Glases auf den Magnetstab ungefähr 1 Zoll Abstand von letzterem behält. Befindet sich die Nadel über dem Nordpol des Magnetstabes, so zeigt es sich, dafs ihr Südpol nach diesem herabgezogen wird. Geht man jetzt mit der Nadel über dem Stabe fort nach dem Südpol hin, so vermindert sich diese Anziehung immer mehr, und ungefähr in der Mitte kommt sie ganz horizontal zu stehen. In dieser Gegend liegt der Indifferenzpunct. So wie man aber von dort aus dem Südpol des Magnetstabes zurückt, bemerkt man nun die eintretende Anziehung des Nordpols der Nadel, und zwar um so stärker, je näher man dem Südpol kommt.

Wird endlich ein Magnetstab an irgend einer Stelle seiner Axe zerbrochen, so hat dann jeder Theil an den Enden seine zwei entgegengesetzten Pole, welche mit denen des ganzen Magnets in derselben Richtung liegen, so dafs an den getrennten Stellen der entgegengesetzte Magnetismus entstanden ist.

Siebenter Versuch. Zerbricht man eine magnetische Stricknadel in mehre Stücke und untersucht die Polarität jedes Endes, so wird man das Angeführte bestätigt finden.

§. 443.

Wenn ein attractionsfähiger Körper mit dem Pole eines Magnets in Berührung gekommen ist, so zeigt sich dieser Körper ebenfalls magnetisch, und zwar besitzt er auf seiner ganzen Ausdehnung den Magnetismus desjenigen

Poles, mit welchem er in Berührung steht. Dieses Magnetischwerden eines Körpers nennt man **Magnetisirung durch Mittheilung.**

Erster Versuch. Man berühre z. B. mit dem Nordpole eines kräftigen Magnets einen kurzen Eisenstab oder einen grofsen Schlüssel. — Die ganze Eisenmasse wird sich magnetisch zeigen und zwar nordpolarisch, denn sie zieht überall den Südpol einer genäherten Magnetnadel an.

Zweiter Versuch. Man nehme einige eiserne Drahtstückchen, z. B. von Claviersaiten, und bringe das Ende des einen an den Pol eines kräftigen Magnets. — Das freie Ende des Drahtes wird nun ein zweites und dieses auf gleiche Weise noch ein drittes anziehen und magnetisch machen.

Dieselbe Bewandtnifs hat es auch mit den an einem Magnete hängen bleibenden Eisenfeilspänen. Jedes angezogene Spänchen wird nämlich ein kleiner Magnet, der ein zweites, drittes u. s. f. anzieht und magnetisch macht. — Hieraus erklärt sich auch die bei'm fünften Versuche des vorigen Paragraphen angeführte Erscheinung, weshalb bei der Annäherung der gleichen Pole die angehängte Eisenfeile zum Theil wieder abfällt.

Dritter Versuch. Man bestreue eine Glastafel dünn mit Eisenfeile, bringe einen Magnetstab mit seinen beiden Polen unter dieselbe und erschüttere die Glastafel mit der Kante des Magnets einige Male, oder man siebe auf eine über einem Magnetstabe liegende Glastafel Eisenfeile. — In beiden Fällen werden sich an den Polen die Eisenfeile am beträchtlichsten anhäufen und sich dabei so anordnen, dafs sie krumme Linien bilden, welche von einem Pole nach dem andern gerichtet sind. — Diese Erscheinung erklärt sich ebenfalls dadurch, dafs jedes Eisenspänchen zum Magnet wird, wobei sich dann die ungleichnamigen Pole anziehen und dadurch Reihen von einem Pole des unter dem Glase liegenden Magnets zum andern bilden oder wenigstens das Bestreben zeigen, dergleichen hervorzubringen. — Die bei dergleichen Versuchen, von welchen man noch einige Abänderungen in Gehler's phys. Wrtb. VI. 817—819 beschrieben findet, sich bildenden krummen Linien hat man die magnetischen Curven genannt.

Das reine weiche Eisen nimmt die magnetische Kraft am schnellsten und leichtesten an, verliert sie aber auch nach kurzer Zeit, sobald es vom Magnete getrennt wird. Gehärteter Stahl und namentlich Gufseisen, vorzüglich in

gröfseren Massen, werden dagegen nicht so schnell magnetisch, behalten aber dafür auch nach erfolgter Trennung vom Magnete die ihnen mitgetheilte magnetische Kraft dauernder. Ein auf solche Weise magnetisch gewordenes Stück Stahl zeigt sich alsdann nicht mehr in seiner ganzen Ausdehnung gleichnamig, sondern polar-magnetisch. Das mit dem Pole in Berührung gewesene Ende hat nämlich den entgegengesetzten Magnetismus des Poles angenommen, während das andere Ende den Magnetismus des Poles beibehalten hat. Andere Metalle, aufser Nickel und Kobalt, werden bei Berührung mit einem Magnete nicht magnetisch.

§. 444.

Jeder magnetische Pol (+ M. oder — M.) erzeugt in seiner Umgebung bis auf eine gewisse Entfernung in magnetisirbaren Körpern ebenfalls Magnetismus, und zwar dergestalt, dafs die dem Magnetpole nächsten Theile dieser Körper den entgegengesetzten, die entferntesten aber den gleichnamigen Magnetismus annehmen. Diese Wirkung der magnetischen Kraft nennt man **Magnetisirung durch Vertheilung** oder **Induction**, und die Entfernung, in der ein Magnet magnetisirbaren Körpern diesen magnetischen Zustand ertheilt, heifst sein **magnetischer Wirkungskreis** oder dessen **magnetische Atmosphäre**. Auch dieser Zustand ist eben so, wie der durch Mittheilung hervorgebrachte, entweder vorübergehend oder bleibend, je nachdem er nämlich in reinem Eisen oder in Kohlenstoffeisen entsteht. — In diesem Vertheilungszustande tritt nun nach dem Attractionsgesetze (§. 442) das Bestreben gegenseitiger Anziehung zwischen dem inducirenden Magnete und dem inducirten Körper ein, woraus zugleich gefolgert werden kann, dafs jede magnetische Anziehung auf der ihr vorangehenden Vertheilungswirkung beruht, so dafs

z. B. weiches Eisen erst selbst ein Magnet werden mufs, bevor es von einem Magnete angezogen werden kann.

Nachstehende Versuche werden diese Vertheilungswirkungen erkennen lassen.

Erster Versuch. Man hänge zwei Stückchen weichen Eisendrahts so an einem Faden auf, dafs sie dicht und parallel neben einander vertical herabhängen, wie in der Fig 264 durch die Linie *ss* angedeutet ist. — Nähert man nun den untern Enden der Drähte den Pol eines starken Magnets, so wird man bemerken, 1.) dafs sich die Drähte an ihren untern und obern Enden abstofsen und den Faden dadurch aus der verticalen Lage bringen (s. Fig. 264), und 2.) dafs beide untere Enden das Bestreben zeigen, sich mit dem genäherten Magnetpole zu vereinigen. — Diese Erscheinung kann aber nur dann stattfinden, wenn die untern Drahtenden beide den entgegengesetzten Magnetismus des genäherten Pols, die oberen aber den gleichnamigen angenommen haben, wie auch in der Fig. 264 ausgedrückt ist.

Stellt man denselben Versuch mit zwei Nähnadeln an, so werden diese dauernd magnetisch, wobei die unteren Enden den entgegengesetzten, die oberen den gleichnamigen Magnetismus des genäherten Magnetpols angenommen haben.

Zweiter Versuch. Ueber den einen Pol eines kräftigen Hufeisenmagnets halte man, wie Fig. 265 darstellt, in einiger Entfernung einen grofsen Schlüssel. Es wird dieser nach dem Vertheilungsgesetze polar-magnetisch, wie in der Fig. 265 angezeigt ist. — In diesem magnetischen Inductionszustande trägt er sowohl an seinem unteren als auch an dem oberen Ende einen kleinen Schlüssel. Entfernt man aber den grofsen Schlüssel oberhalb oder seitwärts allmählig von dem Magnetpole, so wird man bald an eine Stelle kommen, wo die kleinen Schlüssel wieder abfallen.

(S. Gehler's phys. Wrtb. VI. 676—680.)

§. 445.

Es ist bereits (§. 438) angeführt worden, dafs Magnete ihre Attractivkräfte schon in verschiedenen Entfernungen auf Körper, die dafür empfänglich sind, äufsern, dafs aber dabei die Gröfse dieser Wirkung ungleich ist, und zwar mit der Entfernung abnimmt.

Versuch. Sehr leicht kann man sich hiervon überzeugen, wenn man einen Magnet in die Nähe einer Magnetnadel bringt.

Die Ablenkung der letzteren ist nämlich um so beträchtlicher, in je gröfserer Nähe von ihr sich der Magnet befindet, und vermindert sich allmälig, so wie man letzteren von ihr nach und nach entfernt.

Durch Versuche, die erst später angeführt und erklärt werden können, hat sich ergeben, dafs sich die Stärke der magnetischen Kraft nach demselben Gesetze vermindert, wie alle radial wirksamen Kräfte, nämlich wie die Quadrate der Entfernungen, so dafs sie in der doppelten, dreifachen, vierfachen etc. Entfernung vier-, neun- sechszehnmal schwächer ist als in der einfachen.

§. 446.

Das eigentliche Wesen des Magnetismus ist uns ebenfalls noch unbekannt, weshalb man sich genöthigt sieht, seine Zuflucht zu hypothetischen Erklärungen der magnetischen Phänomene zu nehmen. Die Meinungen der Physiker hierüber sind noch getheilt. Einige supponiren, wie bei'm Licht und bei der Wärme, als Ursache der magnetischen Erscheinungen das Vorhandensein einer ungemein feinen unwägbaren Flüssigkeit, welche mit den materiellen Theilen der magnetisirbaren oder vielleicht aller Körper verbunden ist. Dieses Fluidum soll aber aus zwei von einander verschiedenen Theilen oder aus zwei Flüssigkeiten bestehen, wovon man die eine als die nördliche oder positive (+ M.), die andere als die südliche oder negative (− M) bezeichnet hat. Keine dieser beiden magnetischen Flüssigkeiten ist aber allein an die materiellen Theilchen gebunden, sondern sie sind immer vereint in den Körpern vorhanden. Die Theilchen jeder gleichnamigen Flüssigkeit besitzen dabei das Bestreben, sich gegenseitig abzustofsen, die der ungleichnamigen dagegen das, sich anzuziehen. Befinden sich nun diese beiden magnetischen Flüssigkeiten in einem Körper so vorhanden, dafs sie sich in den einzelnen

Körpermoleculen gegenseitig angezogen halten, so findet keine Aeufserung des Magnetismus statt, oder solche Körper sind unmagnetisch. Wird aber dieser vorhandene Gleichgewichtszustand in einem Körper aufgehoben oder erfolgt eine Trennung dieser beiden Flüssigkeiten durch irgend eine äufsere Ursache, so tritt auch der magnetische Zustand, und zwar stets als bipolarer, nie als unipolarer Magnetismus ein. In diesem polaren Zustande ist dann jeder magnetische Körper fähig, in andern noch unmagnetischen den Neutralitätszustand ihres Magnetismus aufzuheben, sie ebenfalls und zwar in der Art zu polarisiren, dafs jeder Pol, in dem man sich gleichsam die attractorische Kraft jeder einzelnen magnetischen Flüssigkeit vereint denken kann, innerhalb gewisser Grenzen in den unmagnetischen Körpern diese Flüssigkeiten oder polaren Kräfte trennt, dann seine ungleichnamige anzieht, die gleichnamige aber abstöfst (man vergl. hiermit §. 277). Die Aenderung, welche hierdurch in der Anordnung der magnetischen Flüssigkeit vor sich geht, kann sich aber nicht über den Bereich der kleinsten Körpertheilchen, woran diese Flüssigkeit haftet, erstrecken, so dafs kein Uebergang derselben von einem Körpertheilchen zum andern und noch weniger ein solcher in andere Körper möglich ist. Nach dieser Annahme des Gebundenseins jener hypothetischen Flüssigkeit an die Körpermolecule erklärt es sich auch, wie ein Magnet oder ein in magnetischer Activität befindlicher Körper andere in diesen Zustand versetzen kann, ohne von seiner Kraft zu verlieren, so wie auch dafür die Erscheinung spricht, dafs bei jedem selbst in mehre Theile getrennten Magnete jeder derselben als ein vollständiger Magnet mit zwei Polen erscheint.

Um sich nach dieser Ansicht eine anschauliche Vorstellung von der Vertheilung der entgegengesetzten Kräfte

im Innern eines Magnets zu verschaffen, kann man sich, wie Fig. 266 darstellt, unter den kleinen Rechtecken die einzelnen Moleculen des Magnets vorstellen, deren jedes die beiden polaren Kräfte in ihrem getrennten Zustande so vertheilt enthält, dafs die gleichartigen, welche in der Figur durch die weifsen und schwarzen Stellen angedeutet wurden, nach derselben Seite hingekehrt sind, wodurch an dem einen Ende nur die eine, an dem andern die andere Kraft wirksam wird, und woraus zugleich ersichtlich ist, dafs, wenn man einen Magnet irgendwo in seiner Axe zerbricht, jedes Stück wieder ein bipolarer Magnet sein mufs. (Man vergl. hiermit den siebenten Versuch des §. 442.)

Die Trennung der magnetischen Flüssigkeiten oder Kräfte erfolgt aber nicht in allen Körpern mit gleicher Leichtigkeit; je leichter diese Trennung eintritt, desto schneller geht auch ihre Wiedervereinigung von statten, oder mit andern Worten: je leichter ein Körper magnetisch wird, in desto kürzerer Zeit verliert er auch wieder seine magnetische Thätigkeit. Als Grund dieser Erscheinung nimmt man an, dafs die verschiedenen Körperstoffe der polaren magnetischen Einwirkung, durch welche die Trennung der magnetischen Fluiden bewirkt wird, einen Widerstand, und zwar einen verschieden grofsen Widerstand entgegensetzen, den man die Coercitivkraft genannt hat. Wenn es daher auch bis jetzt noch nicht gelungen ist, alle Körper in einen magnetischen Zustand zu versetzen, so darf man darum diesen noch nicht in einem gänzlichen Mangel des magnetischen Princips suchen, denn es kann die Coercitivkraft des Stoffes so grofs sein, dafs die uns bis jetzt bekannten Mittel, diese Kraft zu überwinden, dazu noch nicht ausreichend sind. — Nach einer andern und zwar neueren Ansicht, welche sich auf Erscheinungen des Elektromagnetismus oder der Wechsel-

wirkung der Elektricität und des Magnetismus beziehen, betrachtet man letzteren als ein elektrisches Phänomen. Um diese Ansicht gehörig zu beurtheilen, muſs man erst eine Kenntniſs dieser Wirkungen erlangen, welche in den folgenden Abschnitten gegeben werden wird.

III. Magnetismus der Erde oder tellurischer Magnetismus.

§. 447.

Da nach dem magnetischen Polaritätsgesetze ungleichnamige Pole sich anziehen, so folgt, daſs jeder frei bewegliche Magnet zwischen den ungleichnamigen Polen eines stärkeren unbeweglichen eine solche Lage annehmen wird, bei der seine Pole den ungleichnamigen des stärkeren Magnets gegenüber zu stehen kommen, oder bei der die Verlängerung seiner Axe nach jenen Polen hinweist.

Versuch. Ueber die Pole eines Hufeisenmagnets oder über einen horizontal liegenden Magnetstab bringe man eine kleine Magnetnadel. — Beiden Magneten mag man eine Stellung nach den Weltgegenden geben, welche man will, der Nordpol der Nadel wird sich immer gegen den Südpol und der Südpol derselben gegen den Nordpol des stärkeren Magnets richten.

Alle auf der Erdoberfläche befindliche, in einer Horizontalebene frei bewegliche Magnete nehmen nun bekanntlich auch eine solche Stellung an, daſs der eine Pol, den man den Nordpol nennt, ungefähr nach Norden, der andere aber, der sogenannte Südpol, nach Süden gerichtet ist. — Auf die Schluſsfolgen, welche sich hieraus ziehen lassen, werden wir später zurückkommen, vorläufig wollen wir nur das Factum festhalten, daſs jeder in der angegebenen Weise frei bewegliche Magnet auf der Erde eine ähnliche constante Richtung wie zwischen den zwei Polen eines unbeweglichen Magnets erhält.

Denkt man sich durch die Axe einer solchen im Zustande der Ruhe befindlichen Magnetnadel eine Vertical-

Ebene gelegt, so heifst diese der **magnetische Meridian** des Ortes, wo sich die Nadel befindet. Es fällt derselbe nur an wenigen Orten der Erde mit ihrem geographischen Meridian zusammen, meist weicht er von diesem ab, oder der Magnet zeigt nicht genau nach Norden. Derjenige Winkel, welchen der magnetische Meridian an irgend einem Orte mit dem geographischen macht, nennt man die **magnetische Abweichung** oder **Declination** dieses Ortes. Sie ist entweder **östlich** oder **westlich**, je nachdem der Nordpol der Nadel nach Osten oder Westen hin vom geographischen Meridian abweicht.

Magnete, die eine freie horizontale Beweglichkeit haben, nennt man deshalb **Abweichungs-** oder **Declinations-Nadeln**, und haben sie dabei eine solche Einrichtung, dafs sie die Abweichungswinkel genau zu messen gestatten, so nennt man solche Apparate **magnetische Declinatorien**. Es gehört diese Art der Magnetnadeln zu den wichtigsten und nützlichsten physikalischen Instrumenten, und den unstreitig gröfsten Nutzen für die gesammte Menschheit haben sie dadurch gewährt, dafs sie dem Seefahrer der sichere Wegweiser auf der grofsen Wasserwüste wurden. Eben so bedient man sich ihrer auch als Orientirungsmittel in unbekannten Gegenden des Festlandes. Aufserdem braucht sie auch der Feldmesser und Bergmann als Mefswerkzeug auf und unter der Erde, und dem Mineralogen dient sie als Prüfmittel der Gesteine auf Eisen. Endlich hat man in der neueren Zeit in ihr noch das empfindlichste Mefswerkzeug für gewisse elektrische Kraftäufserungen entdeckt, wie wir später erfahren werden.

Die einfachste Abweichungsnadel ist eine in ihrem Schwerpuncte an einem Cocon- oder ungedrehten Seidenfaden aufgehangene magnetische Nähnadel. Zu vielen Zwecken bequemer ist es aber, die magnetische Nadel über ihrem Schwerpuncte

auf einer feinen Stahlspitze balanciren zu lassen, wozu dieselbe ungefähr in der Mitte ihrer Axe mit einem konisch ausgehöhlten Hütchen, am besten von Achat, versehen wird. — Die Fig. 267 zeigt eine solche Anordnung im Durchschnitt.

Um aber die Gröfse ihrer Abweichungen meſsbar zu machen, muſs sich ihr Bewegungspunct in der Mitte eines Kreises befinden, der eine für den besondern Zweck, zu dem die Magnetnadel benutzt werden soll, entsprechende Eintheilung erhält. — Für den Schiffscompaſs wird der Kreis, den die Spitze der Nadel durchläuft, in die verschiedenen Windstriche, die sogenannte Windrose, für das Winkelmeſsinstrument in 360° und zu bergmännischem Gebrauch für den Hängecompaſs in zweimal 12 Stunden und Achtelstunden getheilt. — Will man mit einer Orientirungs-Bussole, wie sie gewöhnlich an Meſstischen gebraucht wird, den geographischen Meridian des Beobachtungsortes annähernd bestimmen, so muſs man die Abweichung für diesen kennen und den Abweichungswinkel an den magnetischen Meridian antragen. Zuweilen ist diese Abweichung schon auf dem Boden der Bussole durch eine Linie bezeichnet, da diese jedoch, wie später angeführt werden wird, veränderlich und an verschiedenen Orten der Erde sehr verschieden ist, so ergiebt sich daraus die Unzuverlässigkeit einer solchen Bezeichnung. Noch ist zu bemerken, daſs die Orientirungs-Bussole für den Geodäten nicht immer ein genaues Orientirungs-Mittel abgiebt, indem locale Ursachen, namentlich die Nähe von Eisenlagern, Basalten u. dergl., die Abweichung oft um mehre Grade verändern können, und aus demselben Grunde bleibt sie auch ein unsicherer Winkelmesser.

(Beschreibung und Abbildung der verschiedenen Einrichtungen dieser wichtigen Instrumente findet man in Gehler's phys. Wrtb. I. 131–136, II. 179—197, VI. 951—962, so wie in Marbach's phys. Lex. I. 388—398.)

Die Mineralien prüft man auf ihren Gehalt an Eisen oder magnetischen Substanzen mittels einer solchen hinlänglich empfindsamen Magnetnadel nach den Gesetzen der magnetischen Anziehung.

Der eigentliche Erfinder der Magnetnadel ist unbekannt. In China soll man sie schon 1100 Jahre v. Chr. gehabt haben. In Europa lernte man sie erst im vierzehnten Jahrhundert kennen.

§. 448.

Aus vielfachen und mehrjährigen Beobachtungen hat man gefunden, daſs es auf der Erde zwei Linien giebt,

auf welchen die Abweichungsnadel überall nach dem wahren Norden gerichtet ist, oder wo der magnetische Meridian mit dem geographischen zusammenfällt. Diese Linien nennt man Linien ohne Abweichung oder agonische Linien (nach Prof. August); die eine derselben befindet sich auf der westlichen Erdhälfte, die amerikanische, die andere auf der östlichen, die asiatische. Ihrer Haupterstreckung nach gehen sie von Süd nach Nord, sie fallen aber nicht mit den Meridianen der Erde zusammen, sondern sind in ihren Richtungen, namentlich die asiatische, sehr veränderlich, so dafs sie jene Meridiane unter verschiedenen Winkeln durchschneiden; aufserdem hat sich auch noch ergeben, dafs ihre Lage nicht stabil ist, sondern sich nach längeren Zeiträumen wesentlich verändert hat. Von diesen agonischen Linien abwärts zeigt sich auf jeder ihrer Seiten, also sowohl östlich wie westlich, eine zunehmende Abweichung der Magnetnadel, die ungefähr in der Mitte zwischen diesen beiden Linien auf der nördlichen und südlichen Erdhälfte ein Maximum erreicht. In den Theilen der Erde, welche westlich von der asiatischen Agone bis zur amerikanischen liegen, ist die Abweichung westlich, auf den übrigen Erdtheilen dagegen ist sie östlich. Werden die Orte, an welchen sich eine gleiche westliche oder östliche Abweichung zeigt, durch eine Linie verbunden, so erhält man die Linien gleicher Abweichung, die sogenannten isogonischen Linien. Einige derselben bilden in sich geschlossene Curven, andere spalten sich in zwei nach Nord und Süd gehende Aeste, die meisten aber sieht man, sowohl im Norden wie im Süden, nach zwei Puncten hin verlaufen, welche sich in der Nähe des Nord- und Südpols der Erde befinden. Diese Puncte, von denen man bisher zwei Paar annehmen zu müssen glaubte, nennt man die magnetischen Pole der Erde

oder nach Hansteen bezeichnender die magnetischen Convergenzpuncte.

Um einen allgemeinen Ueberblick der Vertheilung und der gegenseitigen Lage dieser Linien über die ganze Erdoberfläche zu erhalten, haben einige Physiker, namentlich Hansteen, Barlow, Erman jun. und in neuester Zeit (1840) Gauſs und Weber, Karten entworfen, auf welchen sowohl die agonischen als auch die isogonischen Linien, letztere mit Angabe der Gröſse der Abweichung, verzeichnet sind. Gehler's phys. Wrtb. n. A. enthält im I. Bde. auf Tab. II. eine solche Abweichungskarte für das Jahr 1600, auf Tab. III. eine solche für das Jahr 1700, auf Tab. IV. die für das Jahr 1800, sämmtliche drei nach Hansteen, der VI. Bd. in der Karte I. und III. eine dergleichen für das Jahr 1830, nach Barlow, und der Atlas des Erdmagnetismus von Gauſs und Weber 1840 die für das Jahr 1840. Aus diesen Karten ersieht man zugleich, welche Veränderungen die Lage dieser Linien erhalten hat, und nach den neuesten Bestimmungen von Gauſs giebt es eine gröſsere und kleinere agonische Linie, wovon die erstere die Erde einem Meridian ähnlich umzieht, indem sie durch die magnetischen Erdpole geht und in ihrem Laufe auf der westlichen Erdhälfte den östlichen Theil von Nord- und Süd-Amerika, in der östlichen aber Neuholland, Arabien, Persien und Rufsland durchschneidet. Die kleinere Agone bildet ein Oval und läuft durch Ostsibirien, China und das angrenzende Meer.

Isogonische Linien westlicher Abweichung findet man nach obiger Angabe in Europa, Afrika und dem südwestlichsten Theile von Asien, so wie beinahe in dem ganzen chinesischen Reiche, dem atlantischen Ocean und dem indischen Meere; solche Linien östlicher Abweichung haben aber der gröfsere Theil von Nord-Amerika, fast ganz Süd-Amerika, die östliche Hälfte von Australien, Vorder- und Hinter-Indien, der gröfste Theil von Sibirien und der ganze stille Ocean. Die mittle Abweichung in Europa beträgt 17°, nach Westen nimmt sie zu (in Bonn beträgt sie 20°, in Edinburg 26°, in Island 38°, in Grönland 50°), nach Osten nimmt sie ab (in Königsberg ist sie 13°, in Petersburg 6°).

Ueber die Lage der magnetischen Pole oder Convergenzpuncte wird das Erforderliche noch in den Zusätzen des §. 451 angeführt werden.

§. 449.

Ist ein horizontalschwebender Magnet nur in der Vertical-Ebene um eine Axe beweglich, so leistet er dem

magnetischen Attractionsgesetze dadurch Folge, dafs sich seine Pole nach den ungleichnamigen eines andern neigen, wenn man ihm diese von unten nähert. Magnetnadeln, welche sich vollkommen frei um ihren Schwerpunct in einer Vertical-Ebene bewegen können, heifsen **Neigungs-, Inclinations-Nadeln** oder **Inclinatorien.**

Befindet sich eine solche Neigungsnadel über der Axe eines Magnets zwischen seinen Polen und liegt die Bewegungs-Ebene in dessen Axe, so müssen beide Pole auf die der Nadel anziehend und abstofsend einwirken. Ist die Einwirkung beider Pole gleich stark, was der Fall ist, wenn die Inclinations-Nadel von beiden gleich weit entfernt ist, so hebt sich ihre Wirkung gegenseitig auf, eine solche Magnetnadel kann dann nur der Schwerkraft der Erde folgen und mufs in diesem Falle eine horizontale Lage annehmen. Befindet sie sich aber einem Pole näher als dem andern, so wird die Einwirkung des ersteren überwiegend, und zwar um so mehr, je näher ihm die Neigungsnadel kommt, und die des andern Pols verschwindet völlig, wenn der Schwerpunct der Nadel senkrecht über ihm steht. Eine Folge davon ist, dafs die Neigungsnadel ihre horizontale Stellung verläfst und dafs sich der Pol zu senken anfängt, welcher der entgegengesetzte des Magnetpols ist, dem man sich nähert, wobei die Neigung immer stärker wird, je näher man dem Pole rückt, bis endlich über diesem selbst die Nadel eine verticale Stellung annimmt. Giebt man aber der Inclinations-Nadel eine solche Lage, dafs ihre Bewegungsebene mit der Axe des unter ihr befindlichen Magnets einen rechten Winkel macht, so wird sie über dessen Indifferenzpuncte oder in der Mitte zwischen beiden Polen ebenfalls horizontal stehen; sobald man sich aber dem einen oder dem andern Pole etwas nähert, so kann nur dieser anziehend oder abstofsend auf

die Nadel wirken, und sie nimmt dann sofort die verticale Stellung an.

Erster Versuch. Das oben Erklärte findet seine Bestätigung, wenn man auf die angegebene Weise eine Inclinationsnadel über einen horizontal liegenden Magnetstab bringt. — Wer nicht im Besitz einer vollkommenen Inclinationsnadel ist, kann sich nach Prof. Schmidt's Angabe auf folgende Weise leicht eine zu diesem Behufe brauchbare anfertigen. Man stecke nämlich eine magnetisirte Strick- oder Nähnadel *ns* Fig. 268 durch die Mitte eines Korks *k*, versehe diesen mit einer aus zwei Nadeln *a* und *b* gebildeten rechtwinkeligen Axe, deren Richtung so viel als möglich durch den Schwerpunct der ganzen Masse geht, und hänge diese in eine mit zwei Haken versehene Drahtgabel *acb*, welche an einem ungedrehten Seidenfaden frei beweglich ist. Die Strick- oder Nähnadel *ns* mufs bis zum Horizontalschweben in Kork geschoben werden.

Wenn man eine um ihren Schwerpunct in einer Vertical-Ebene drehbare unmagnetische Stahlnadel aufhängt, z. B. so wie Fig. 268 darstellt, so mufs sie nach statischen Gesetzen horizontal schweben. Wird eine solche Nadel aber magnetisirt und mit ihrer Bewegungsebene in den magnetischen Meridian gestellt, so findet man, dafs sie ihre horizontale Stellung verloren hat, dafs in der nördlichen Erdhälfte ihr Nordpol, in der südlichen ihr Südpol unter die Horizontal-Ebene herabsinkt und sie dann in einer bestimmten Lage verharrt, zu welcher sie immer wieder zurückkehrt, sobald sie aus dieser in eine andere versetzt wird. Stellt man sie aber so auf, dafs ihre Bewegungs-Ebene rechtwinkelig zum magnetischen Meridian steht, so stellt sich die Nadel vertical.

Zweiter Versuch. Am einfachsten läfst sich diese Erscheinung auf folgende Weise zeigen. Man lasse ein Stück Uhrfeder in ihrer Mitte so durchbohren, dafs sie sich, mit dem Loche auf eine Nähnadel geschoben, vertical bewegen kann und eine horizontale Lage annimmt. — Jetzt magnetisire man die Nadel (nach §. 459) und bringe sie wieder an ihre Axe. — Man wird nun wahrnehmen, dafs sie ihr früheres Gleichgewicht verloren hat und die erwähnten Stellungen annimmt.

Es läfst sich dazu auch eine solche Nadel anwenden, wie sie im ersten Versuche beschrieben wurde; statt sie aber in

eine Drahtgabel, wie dort angegeben, einzuhängen, ist es hier vortheilhafter, sie mit ihrer Axe auf die schiefen Flächen *aa* zweier Metallstreifen, Fig. 269, die vertical auf einem Brettchen *b* befestigt sind, aufzulegen.

Der Winkel, den dann auf diese Weise, bei der vollkommensten freien Bewegung um den Schwerpunct, die Axe der Magnetnadel an irgend einem Puncte der Erde mit dem Horizonte macht, heifst die magnetische Neigung oder Inclination dieses Ortes. In der nördlichen Erdhälfte, wo sich, wie schon erwähnt, der Nordpol herabsenkt, haben sämmtliche Orte eine nördliche, in der südlichen Halbkugel, wo dasselbe mit dem Südpol stattfindet, eine südliche Inclination. Magnetische Apparate, bei welchen sich dieser Neigungswinkel genau messen läfst, werden magnetische Inclinatorien genannt.

Vollkommene Inclinatorien sind sehr schwierig auszuführende und kostbare Instrumente. Um an ihnen die Gröfse der Neigung messen zu können, werden die Nadeln von einem in 360° eingetheilten Kreis umschlossen. Eine Beschreibung der vorzüglichsten Inclinatorien so wie der Beobachtungsmethoden findet man in Gehler's phys. Wrtb. V. 742—770 und VI. 981—998 und das Wesentlichste hierüber in Marbach's phys. Lex. IV. 21—26.

§. 450.

Die Neigung der Magnetnadel ist ebenfalls an verschiedenen Orten verschieden. In der Nähe des Erdäquators giebt es eine unregelmäfsig gekrümmte Linie, in welcher die Neigung gleich Null ist, wo also eine Inclinations-Nadel eine horizontale Lage annimmt. Diese Linie ohne Neigung oder die aklinische Linie (nach Prof. August), welche auch magnetischer Aequator genannt wird, trifft nicht genau mit dem Erdäquator zusammen, sondern durchschneidet diesen in zwei einander ziemlich diametral gegenüber liegenden Puncten, so dafs der in der westlichen Halbkugel liegende Theil südlich unter dem Aequator der Erde, der in der östlichen Halbkugel aber nördlich über

letzterem fortläuft. Von dieser Linie nordwärts zeigt die Magnetnadel eine Senkung ihres Nordpols, die ungefähr im Verhältnifs mit der geographischen Breite zunimmt, und gegen Süden hin tritt eine auf dieselbe Weise zunehmende Senkung der Südspitze der Magnetnadel ein. Verbindet man die Orte in der nördlichen und südlichen Erdhälfte, an welchen eine gleiche Neigung stattfindet, durch Linien, so sind diefs die Linien gleicher Neigung, die sogenannten isoklinischen Linien. Es laufen dieselben annähernd parallel mit dem magnetischen Aequator, und sie bilden daher sämmtlich geschlossene Curven um die Erde und ihre magnetischen Pole. Noch verdient besonders bemerkt zu werden, dafs sich in der Lage dieser isoklinischen Linien eine auffallende Uebereinstimmung mit der der Isothermen (§. 433) herausstellt, was auf einen gewissen Zusammenhang mit der Erdwärme hindeutet.

Der magnetische Aequator ist kein vollkommener Kreis, sondern eine Curve von doppelter Krümmung mit mancherlei Biegungen, welche in der Nähe der Durchschnitts- oder Knotenpuncte besonders auffallend sind. Die Lage dieser Knotenpuncte und zugleich auch die des ganzen magnetischen Aequators ist aber veränderlich, und nach den bis jetzt darüber gemachten Erfahrungen rücken sie von Ost nach West fort. Gegenwärtig befindet sich der eine Knotenpunct in der Nähe von St. Thomas ungefähr unter dem 21° östlicher Länge von Ferro, der andere im stillen Meere an einer Stelle, die etwa 160° östliche Länge hat. Die gröfste nördliche Abweichung in der östlichen Erdhälfte von circa 20° ist in der Nähe des 65°. östlicher Länge von Ferro, und die gröfste südliche Abweichung vom Erd-Aequator in der westlichen Erdhälfte von circa 12° unweit der Bay von Bahia, also ungefähr 17° westlich von Ferro vorhanden. — Die Inclination in Europa fällt zwischen 60° und 70° und mufs über den magnetischen Polen der Erde 90° betragen. — Im Jahr 1836 betrug sie vom magnetischen Aequator abwärts in der nördlichen Erdhälfte zu Peking 54° 49′, zu Rom 61° 42′, zu Brüssel 68° 32′, zu Petersburg 71°, in der südlichen Erdhälfte zu St. Helena 14° 50′, zu Rio Janeiro 13° 30′.

So wie zur übersichtlichen Darstellung der Declinationsverhältnisse die Abweichungskarten entworfen wurden, ebenso

ging auch zur Darstellung von solchen Neigungskarten der erste Impuls von A. v. Humboldt aus, um deren Ausführung sich insbesondere Hansteen, Erman und Duperrey verdient gemacht haben. Eine solche nach den genannten drei Physikern entworfene Inclinationskarte findet man im VI. Bde. von Gehler's phys. Wrt., und zwar ist dieselbe für das Jahr 1830 in der Karte II und IV dargestellt. Eine kleinere solche Uebersichtskarte, auf der die isogonischen und isoklinischen Linien gemeinschaftlich verzeichnet sind, ist in Brandes's Naturlehre, Bd. III Tab. V, vorhanden, und Prof. August hat bei der zweiten Auflage von Fischer's mechan. Naturl. im II. Bde. S. 187—190 u. 202—204 die Durchschnittspuncte der isogonischen und isoklinischen Linien mit den Erdmeridianen tabellarisch zusammengestellt, wonach sich dann leicht die genannten Linien in jeder Weltkarte eintragen lassen.

§. 451.

Aus den nun erklärten Erscheinungen der Abweichung und Neigung der Magnetnadeln auf unserer Erde ergiebt sich eine völlige Uebereinstimmung mit den Wirkungen, welche ein Magnetstab auf solche Nadeln ausübt, so dafs man hiernach schliefsen mufs, unser Erdkörper sei selbst ein bipolarer Magnet, dessen Pole aber nicht mit den Polen der Erde zusammenfallen, wohl aber in der Nähe derselben liegen, und da sich nach dem magnetischen Attractions-Gesetze nur ungleichnamige Magnetismen anziehen, in der nördlichen Erdhälfte aber sich der Nordpol, in der südlichen der Südpol senkt, so folgt, dafs die magnetische Polarität der nördlichen Halbkugel südpolar, und aus gleichen Gründen die der südlichen Halbkugel nordpolar sein mufs.

Es wird daher auch von einigen Physikern, namentlich von Franzosen, der Pol der Nadel, welcher nach Nord zeigt, der Südpol, und der nach Süd gerichtete der Nordpol genannt.

Die in diesem und auch schon in früheren Paragraphen zur Sprache gekommenen Magnetpole der Erde hat man sich eigentlich nicht als feste Puncte, sondern als die Regionen vorzustellen, in welchen sich das über die ganze Erde verbreitete magnetische Fluidum von südlicher Polarität auf der einen, von nördlicher auf der andern Erdhälfte gewissermafsen

concentrirt. Solcher Puncte nahm man bis jetzt nach Hansteen's Untersuchungen und Schlufsfolgen in der nördlichen Erdhälfte, und diesen entsprechend auch in der südlichen zwei an, nämlich seitwärs von den geographischen Polen der Erde. Von den nördlichen Polen sollte der eine in Nord-Amerika oberhalb westlich der Hudsonsbay unter 80° nördlicher Breite und 78° westlicher Länge von Ferro, der andere in Nord-Asien unter 81° nördlicher Breite und 134° östlicher Länge vorhanden sein, die südlichen Pole aber einige Grade weiter vom Südpol der Erde entfernt liegen als die nördlichen. Gaufs aber glaubt nach seinen neuesten sorgfältigen Beobachtungen und auf theoretische Gründe gestützt, dafs in jeder Aequatorhälfte der Erde nur ein Pol vorhanden sein könne. Den einen derselben, und zwar den der Nordhälfte, fand James Ross während seiner Polarreise von 1829—1833 im Jahr 1831 wirklich in der Nähe der Hudsonsbay unter 70° 5′ 17″ nördlicher Breite und 96° 45′ 18″ westlicher Länge auf, wo die Inclinationsnadel bis auf 1 Minute vertical stand; eine Abweichung, die auch als Beobachtungsfehler gelten kann. Das wirkliche Vorhandensein dieses Poles an der angegebenen Stelle, über welcher sich die Beobachter befanden, ging auch daraus überzeugend hervor, dafs die Abweichungsnadel bei'm Umfahren derselben stets gegen ihn gerichtet war, und über ihm selbst dem Laufe der täglich am Horizonte kreisenden Sonne folgte (s. Gehler's phys. Wrtb. VI. 1120). Die von Gaufs theoretisch bestimmte Lage des magnetischen Erdpols in der südlichen Erdhälfte unter 72° 35′ südlicher Breite und 152° 30′ Länge von Greenwich ist der genannte Polarreisende gegenwärtig im Begriff aufzusuchen.

Aber auch durch Inductions-Wirkungen erweist sich der magnetische Zustand der Erde, indem nämlich analog, so wie ein Magnet durch Vertheilung den magnetischen Zustand in dafür empfänglichen Körpern anregt (§. 444), dieſs auch von der Erde geschieht. Diese magnetischen Gesammtwirkungen der Erde nennt man den Erd- oder tellurischen Magnetismus.

Versuch. Um die inducirende Wirkung des tellurischen Magnetismus nachzuweisen, dient eine 2—3 Fufs lange Stange von weichem Eisen, noch besser aber ein sol[illegible]l Eisendrähte, welche sich gegenseitig durch eine[illegible] isoliren. Eine gewöhnliche, auf[illegible]itze f[illegible] weichungsnadel zeigt dann

in die das Eisen während der Veränderung seiner Lage durch den Erdmagnetismus versetzt wird.

Nähert man den Stab in horizontaler Lage senkrecht gegen die Richtung der Magnetnadel mit einem Ende der Mitte derselben, so erfolgt an dieser durchaus keine Veränderung in ihrer polaren Stellung; das Eisen befindet sich also im magnetischen Indifferenz-Zustande. Bei Aenderung dieser Lage, vorzüglich dann, wenn man dem Stabe in der Richtung des magnetischen Meridians eine Neigung giebt, zeigt er sich polar magnetisch, und zwar tritt hierbei das Maximum der Intensität ein, wenn er in die Lage der Inclinations-Nadel des Beobachtungsortes kommt. Nähert man dann das untere Ende dem Nordpole der Abweichungsnadel, so wird dieser abgestofsen; es hat also dieses Nord-Polarität angenommen. Bringt man dagegen das obere Ende in die Nähe ihres Südpols, so wird dieser abgestofsen; und es folgt daraus, dafs dieses Stabende ein Südpol geworden ist. Wendet man den Stab um oder verwechselt die Lage seiner Enden, so wechseln auch damit gleichzeitig ihre Polaritäten.

Diese Erscheinungen werden gewöhnlich unter dem Namen des Magnetismus der Lage begriffen.

Sehr belehrend sind in dieser Beziehung die von Barlow angestellten Versuche mit grofsen eisernen Kugeln, den sogenannten Terellen, welche durch die inducirende Wirkung des tellurischen Magnetismus einen diesem entsprechenden magnetischen Zustand annahmen. An einer solchen 13zölligen Kugel fand er das Vorhandensein einer magnetischen Axe und eines magnetischen Aequators. Erstere hatte die Lage der Inclinations-Nadel, und auf letzterem wurden kleine empfindliche Magnetnadeln in ihrer normalen Richtung nicht gestört, wohl aber geschah diefs an andern Stellen der Kugel sowohl hinsichtlich der Declination als auch der Inclination.

§. 452.

Die polare Stellung und Neigung der Magnetnadeln, wie sich dieselbe an den verschiedenen Orten der Erde vorhanden zeigt, müssen wir als das Resultat der Attractions-Wirkung der beiden magnetischen Polarkräfte unserer Erde betrachten. Es erfolgt diese Wirkung in einer doppelten Richtung auf die Magnete, nämlich in einer horizontalen, wodurch die Stellung der Abweichungsnadeln, und in einer verticalen, wodurch die der Neigungsnadeln

bestimmt wird. Wenn nun ein Magnet um seinen Schwerpunct horizontal und vertical völlig frei beweglich ist, so mufs er dann, beiden Wirkungen zugleich folgend, eine Stellung annehmen, welche die **mittle** oder **richtende Kraft des Erdmagnetismus** ausdrückt. Diese Linie giebt jede in dem magnetischen Meridiane bewegliche Neigungsnadel an, und eine Ebene, die man sich dann die Axe eines solchen Magnets senkrecht durchschneidend denkt, heifst ihr magnetischer Aequator. Erhält eine Inclinations-Nadel aber eine solche Stellung, dafs ihre Bewegungsebene rechtwinkelig zum magnetischen Meridiane steht, oder dafs ihre Axe in letzterem liegt, so kann der in der Horizontal-Ebene wirkende Theil des tellurischen Magnetismus diese nicht mehr afficiren, sondern nur der in der Vertical-Ebene wirkende ertheilt ihr jetzt die Richtung, wodurch sie eine senkrechte Stellung annehmen mufs.

Der einfachste, allerdings aber auch noch unvollkommene magnetische Apparat, bei welchem eine Magnetnadel die angeführte doppelte, freie Beweglichkeit besitzt, ist der in Fig. 268 abgebildete und bei dem ersten Versuche des §. 349 beschriebene; nur ist dabei zu bemerken, dafs die Nadel *ns* im unmagnetischen Zustande in den Kork zu schieben und zu äquilibriren ist, nachher aber erst, jedoch ohne dafs sie verrückt wird, magnetisirt werden mufs. — Einen vollkommeneren Apparat dieser Art stellt die Fig. 270 dar. Es ist nämlich *ns* ein Magnetstäbchen oder eine Magnetnadel, welche in ihrem Schwerpuncte mit einer rechtwinkeligen Axe versehen wird, um welche sich dann die Nadel in den Vertiefungen der beiden Schrauben *ff* leicht drehen kann. Diese Schrauben gehen durch die parallelen Seitenwände eines leichten Messingrahmens *abcd*, der oben in der Mitte eine Klemme erhält, in welcher ein ungedrehter Seidenfaden befestigt wird, an dem der ganze Apparat unter einer Glasglocke aufgehangen werden kann.

Dafs die Neigung, die eine solche Nadel annimmt, die Richtung angiebt, in der die resultirende Kraft des Erdmagnetismus auf sie wirkt, wird folgende Betrachtung lehren. *S* und *N* Fig. 271 die beiden magnetischen Pole der Erde stellen, und *ns* sei eine zwischen diesen Polen um ihren Punct *m* sowohl in einer Horizontal- als auch in einer dazu senkrechten Ebene frei bewegliche Magnetnadel, welche

und repulsive Kraft der magnetischen Erdpole *S* und *N* in horizontaler Richtung erhält die Nadel ihre entsprechende polare Stellung *ns*, so dafs ihre Axe in das Alliguement zwischen *S* und *N* zu liegen kommt, die weitere Bewegung nach dem etwa überwiegenden Magnetpole wird jedoch durch ihren feststehenden Bewegungspunct *m* aufgehoben. In Folge der auch in der Vertical-Ebene vorhandenen Wirkung wird aber ferner noch die den Polkräften entsprechende Neigung der Nadel bedingt. Nehmen wir zuerst an, die Nadel befinde sich genau in der Mitte zwischen beiden Polen *S* und *N*, so müssen auch auf jedem Punct derselben die Einwirkungen beider Pole gleich sein. Unter dieser Voraussetzung mufs mithin der Punct *n* in der Richtung *nS* von dem magnetischen Erdpole *S* eben so stark angezogen werden, als der Punct *s* in der Richtung *sa* abgestofsen wird. Die Linie *na*, welche die Gröfse dieser Wirkung ausdrücken soll, mufs daher gleich *sa* sein, und wegen der grofsen Entfernung des Erdpols von diesen Puncten können auch die beiden Linien *na* und *sa* als parallel betrachtet werden. Auf ganz gleiche Weise erfolgt auch die Wirkung des andern magnetischen Erdpols *N*, indem *s* von diesem in der Richtung *sN* angezogen, *n* aber in der Richtung *nb* abgestofsen wird, wobei aus gleichen Gründen *sb* gleich *nb* und beide Linien einander parallel sein müssen. Nach dem Kräfteparallelogramm (§. 28) ist aber für den Punct *n*, *nc* und für den Punct *s*, *sc* die Resultirende; beide sind einander gleich und direct entgegengesetzt, weshalb die Nadel die horizontale Lage beibehalten mufs. Ein anderer Fall aber tritt ein, sobald die Nadel *ns* dem einen Erdpole näher ist als dem andern. Befindet sie sich z. B. nach Fig. 272 dem Erdpole *S* näher, so wird der Punct *n* von dem Pole *S* eben so stark angezogen, als *s* abgestofsen, wonach auch hier *na* gleich *sa* sein mufs. Eben so wird auch von dem Pole *N* der Punct *s* eben so stark angezogen, als der Punct *n* abgestofsen, und es mufs deshalb *sb* ebenfalls gleich *nb* sein. Aber die anziehende Kraft von *N* ist kleiner als die von *S*, weil *N* als der entferntere Pol eine mindere Attraction ausübt; daher mufs auch *nb* und *sb* kleiner als *na* und *sa* sein. Nach dem Kräfteparallelogramm sind dann hier die Resultirenden *nc* und *sc* zwar auch gleich und parallel, aber nicht direct entgegengesetzt. Sie müssen daher eine Drehung der Nadel bewirken, welche nur in der Richtung n^1s^1, parallel mit den Resultirenden *cn* und *sc*, zur Ruhe kommen kann, und dieſs ist eben die Lage der Neigung der Nadel.

§. 453.

Zu manchen Zwecken ist es nothwendig, N
zu haben, auf die der Erdmagnetismus kei

Wirkung ausüben kann. Solche Magnetnadeln nennt man astatische Nadeln. Eine frei bewegliche Magnetnadel wird aber der Wirkung des Erdmagnetismus entzogen, wenn man ihre Drehungsaxe in die richtende Kraft des Erdmagnetismus stellt, oder wenn man ihr die Lage giebt, die eine im magnetischen Meridiane stehende Inclinationsnadel hat. Wäre nämlich *ns* Fig. 273 die Neigung einer Inclinations-Nadel, so müfste sich die Drehungsaxe *ab* der astatischen Nadel *NS* in der Richtung von *ns* befinden. Dann wirkt nämlich die Erde in der Richtung dieser Axe, welche unbeweglich ist, auf die Nadel, und letztere wird sich nur in der Ebene des magnetischen Aequators bewegen können, übrigens in dieser Ebene in jeder beliebigen Lage zur Ruhe kommen.

Eine Beschreibung der mechanischen Einrichtung dieser Art astatischer Nadeln nebst Abbildung findet man in Marbach's phys. Lex. III. 513.

Eine andere, zu vielen Zwecken noch brauchbarere Art astatischer Nadeln erhält man auf folgende Weise: An eine gemeinschaftliche Axe *ab* Fig. 274, die an einem Coconfaden *ac* hängt, werden zwei Magnetnadeln von möglichst gleicher magnetischer Kraft so befestigt, dafs sie in einigem Abstande parallel mit den ungleichnamigen Polen über einander zu stehen kommen. Hierdurch kann eigentlich keine der beiden Nadeln eine polare Richtung annehmen, und sobald sie in Ruhe gekommen sind, wird ihre Richtung durch die geringste attractorische Kraft verändert.

Noch eine einfachere, ebenfalls sehr brauchbare astatische Magnetnadel erhält man auch, wenn man einer einfachen Abweichungsnadel an beiden Enden gleich starke gleichnamige, also Nord- oder Süd-Polarität ertheilt. Auf welche Weise man sich solche Nadeln leicht verschaffen kann, wird später (§. 459, zweiter Versuch) angeführt werden.

Man bedient sich dieser zuletzt angeführten Arten astatischer Nadeln hauptsächlich, um sehr geringe magnetische Kraftäufserungen zu entdecken, und ihre Anwendung in dieser Beziehung werden wir in der Lehre von der Elektricität und dem Elektromagnetismus noch kennen lernen.

§. 454.

Die Stärke des Erdmagnetismus oder dessen Intensität ist eben so wie die Declination und Inclination auf der Erdoberfläche verschieden gefunden worden. In der Nähe des magnetischen Aequators zeigt sie sich am schwächsten und nimmt nach beiden Polen hin zu, oder sie wächst von den wärmeren Gegenden der Erde nach den kälteren hin. Die Orte der Erde, an welchen sich eine gleiche Intensität zeigt, hat man auf gleiche Weise wie bei den Isoklinen durch Linien verbunden, welche von Hansteen mit dem Namen isodynamischer Linien bezeichnet worden sind. In ihrer Gestalt und Lage sind sie den isoklinischen Linien ähnliche Curven, welche jedoch mit diesen nicht ganz zusammenfallen und eine noch gröfsere Annäherung an die Isothermen zeigen. Auf dem westlichen Continente liegen sie viel südlicher als auf dem östlichen, so dafs unter gleichen Breiten die Intensität in Amerika gröfser als in Europa, und hier wieder gröfser als in Asien ist. Die Stellen der geringsten Intensität scheinen aber nicht in einer solchen Continuität um den Erdkörper vorhanden zu sein, sondern vereinzelt in der Nähe Süd-Afrika's unter der Linie der gröfsten Erdwärme zu liegen.

Eine von Hansteen entworfene Karte der isodynamischen Linien findet man in Poggendorf's Annal. XXVIII. Tab. VII, und in Gehler's phys. Wrtb. VI. 1135 u. 1139 Karte II. u. IV, wo sie mit den isoklinischen Linien zugleich verzeichnet und zur Unterscheidung erstere ausgezogen oder durch fortlaufende Striche bezeichnet, letztere aber punctirt sind. Eben so findet

man auch die Isodynamen auf dem schon erwähnten kleinen Kärtchen von Brandes (Bd. III, Tab. V.) angegeben, welches somit eine übersichtliche Darstellung aller der drei unterschiedenen magnetischen Wirkungen unserer Erde darstellt. Um sich diese Linien und mit ihnen zugleich die Isothermen auf irgend einer Weltkarte eintragen zu können, sind die vom Professor August in der schon angezogenen 2ten Aufl. d. Naturl. von Fischer II. 207 u. 209 tabellarisch geordneten Angaben der Durchschnittspuncte dieser Linien mit den Erdmeridianen vortheilhaft zu benutzen. Bei allen diesen angeführten Karten ist die von A. v. Humboldt unter 7° südlicher Breite und 3° östlicher Länge von Ferro beobachtete Kraft als Einheit zum Grunde gelegt worden. Die nach dieser Einheit gemessenen und in jenen Karten eingetragenen isodynamischen Linien zeigen, dafs die Intensität des tellurischen Magnetismus in der westlichen Erdhälfte beträchtlicher als in der östlichen, und im Ganzen auf der nördlichen Halbkugel überwiegend gegen die auf der südlichen ist; dafs das absolute Minimum im südlichen Afrika, etwa 20° südlicher Breite, kaum gröfser als 0,8, das absolute Maximum in den Umgebungen der Hudsonsbay, am südlichsten bei Neu-York unter ungefähr 41° nördlicher Breite, kaum gröfser als 1,8 anzunehmen sei, während unter derselben Breite im westlichen Europa und im westlichen und östlichen Asien das Intensitätsmafs nur bis zu 1,3 und im höchsten Norden Sibiriens unter 70° nördlicher Breite nur bis zu 1,7 steigt, für das mittle Europa aber als Intensitäts-Verhältnifs etwa 1,35 anzunehmen ist. So beträgt z. B. die Intensität in Madrid 1,294, in Rom 1,264, in Florenz 1,278, in Wien 1,325, in Paris 1,348, in Berlin 1,364, in London 1,33, in Stockholm 1,342, in Petersburg 1,403.

Gaufs dagegen hat in neuester Zeit die Totalwirkung des Erdmagnetismus nach einem von ihm als Einheit angenommenen Mafse auszudrücken gesucht. Hiernach hat er drei Puncte auf der Erde bestimmt, wo die Wirkung des Erdmagnetismus einen Maximum-Werth hat, und zwei Puncte, wo sich die geringste Intensität zeigt. Von den ersteren befindet sich der eine Punct in der Nähe des nördlichen Magnetpols in Nord-Amerika, der zweite in der Gegend von Sibirien, wo Hansteen einen zweiten Magnetpol annahm, und der dritte südlich von Van-Diemensland in der Nähe des südlichen Erdpols. Die Werthe der Intensität des Magnetismus an den ersten drei Puncten, nach jener Mafseinheit bestimmt, betragen 6,1614; 5,9113; 7,8982. Die beiden Puncte des Minimums der tellurischen Magnetkraft liegen in der Nähe des Aequators, der eine nordöstlich von Neuholland, der andere in der Nähe von St. Helena, und es entsprechen denselben die Intensitäten 3,2481 und 2,6281. (Vollständig entwickelt findet man diese Theorie in dem Werke:

Resultate des magnetischen Vereins für 1838, und ausführlicher diesen Gegenstand abgehandelt, als es hier der Raum gestattete, in Eisenlohr's Lehrb. d. Phys. 3te Aufl. 472—476, so wie in Baumgartner's Naturl. 7te Aufl. 376.)

Die Intensität des Erdmagnetismus hat man aus der Einwirkung desselben auf eine in Schwingungen versetzte Magnetnadel zu bestimmen gesucht. Diese Schwingungen sind denen eines Pendels ganz ähnlich, indem bei letzterem die Schwerkraft, bei den Magnetnadeln aber der tellurische Magnetismus die stetig bewegende Kraft ist. Da sich nun nach den Pendelgesetzen (§. 106) die Schwingungszeit eines Pendels nach dem Ausdrucke $t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$ bestimmen läfst, in welchem t die Schwingungszeit, l die Länge des Pendels und g die Intensität der Schwerkraft ausdrückt, so müssen auch die Schwingungszeiten desselben Pendels an Orten der Erde, wo die Intensität der Schwerkraft g und g^1 ungleich ist, verschieden ausfallen; es mufs nämlich sein:

$$t : T = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}} : \pi \sqrt{\frac{l}{2g^1}},$$

$$\text{oder } t^2 : T^2 = \frac{1}{g} : \frac{1}{g^1},$$

$$\text{mithin } g : g^1 = \frac{1}{t^2} : \frac{1}{T^2},$$

d. h. die Intensität der Schwerkraft verhält sich indirect wie die Quadrate der Schwingungszeiten der Pendel.

Da ferner die Anzahl n und N der in gleichen Zeiten vollendeten Schwingungen der Schwingungsdauer umgekehrt proportional ist, so ergiebt sich auch noch, dafs

$$g : g^1 = n^2 : N^2,$$

d. h. die Quadrate der in einer bestimmten Zeit mit demselben Pendel erhaltenen Anzahl Schwingungen verhalten sich wie die Intensität der Schwerkraft.

Dieses auf Magnetnadeln angewendet, indem man statt der Schwerkraft die magnetische Intensität m und M substituirt, zeigt, dafs sich

$$m : M = \frac{1}{t^2} : \frac{1}{T^2}$$

$$\text{oder auch } m : M = n^2 : N^2,$$

d. h. die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten ist bei Anwendung derselben Magnetnadel dem Quadrate ihrer Schwingungszeit indirect, der Anzahl ihrer Schwingungen in gleichen Zeiten aber direct proportional.

Gesetzt, an dem Orte A vollende die Magnetnadel eine gewisse Anzahl Oscillationen in 100 Secunden, am Orte B die-

selbe Anzahl in 71 Secunden, oder in A machte die Magnetnadel in derselben Zeit 71 Schwingungen, wo sie in B gerade 100 vollendete, so würden sich dann die Intensitäten der erdmagnetischen Kräfte m, M an diesen beiden Orten verhalten wie

$$m : M = \frac{1}{100^2} : \frac{1}{72^2},$$

oder $$= 71^2 : 100^2,$$

mithin $m : M = 5041 : 10000$ oder wie $0{,}5041 : 1$, wonach also die Intensität M am Orte B fast noch einmal so grofs als die m am Orte A wäre.

Man kann sich zu solchen Versuchen sowohl der Declinations- als auch der Inclinations-Nadeln, ersterer aber mit mehr Vortheil deshalb bedienen, weil deren genaue Aufhängung leichter zu bewerkstelligen ist und die Dauer ihrer Schwingungen gröfser ausfällt, indem bei ihrer Bewegung geringere Hindernisse vorhanden sind. — Ueber die verschiedenen Methoden, die Intensität des Magnetismus zu messen, so wie über das bei den Beobachtungen zu befolgende Verfahren s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 998—1019.

Mittels einer Declinations-Nadel wird aber nur der Theil der magnetischen Erdkraft gemessen, welcher in horizontaler, und durch eine Inclinations-Nadel der, welcher in verticaler Richtung wirksam ist (§. 452). Es läfst sich aber sowohl aus der einen, als auch aus der andern gefundenen Intensität, da diese immer der Totalwirkung des Erdmagnetismus proportional sein mufs, letztere leicht durch Hilfe des Kräfteparallelogramms (§. 28) bestimmen. Bezeichnet z. B. ns Fig. 275 die richtende Kraft des Erdmagnetismus, wie sie eine im magnetischen Meridiane des Ortes stehende Neigungsnadel angiebt (§. 452), und stellt die Linie $na = K$ die Gröfse dieser Kraft dar, so läfst sich dieselbe in die horizontal wirkende $nb = H$, und in die vertical wirkende $nc = V$ zerlegen. Wäre nun α der Inclinations-Winkel (§. 449), so ist offenbar $K = \frac{H}{\cos. \alpha}$ und $\frac{V}{\sin. \alpha}$; d. h. man findet die Totalwirkung der magnetischen Erdkraft eines Ortes, wenn man die ermittelte Horizontal-Intensität durch den Cosinus, oder die Vertical-Intensität durch den Sinus des Inclinations-Winkels dividirt.

Durch Schwingungsversuche mit einer Neigungsnadel kann man auch genau die Gröfse der Inclination an jedem Orte bestimmen. Läfst man nämlich eine solche Nadel erst in der Ebene des magnetischen Meridians, dann in einer auf diesem senkrechten Ebene schwingen, und zählt man in beiden Lagen die Zahl der Schwingungen, die sie in einer gleichen Zeit voll-

endet, so wird man die Anzahl der Schwingungen in der ersten Lage N gröfser als die in der zweiten n finden. In der Ebene des magnetischen Meridians erfolgen sie nämlich unter der Einwirkung der ganzen Magnetkraft K der Erde, in der zu diesem senkrechten Ebene aber nur unter der Einwirkung des verticalen Theiles V derselben. Da nun nach Obigem $K = \frac{V}{\sin. \alpha}$, so folgt, dafs $\sin. \alpha = \frac{V}{K} = \frac{n^2}{N^2}$ sein mufs.

Die aus solchen Oscillations-Beobachtungen mit derselben Magnetnadel an verschiedenen Orten gefundenen Resultate für die Intensität des Erdmagnetismus können aber nur dann richtige Werthe sein, wenn sich die der Nadel inwohnende freie magnetische Kraft nicht verändert hat. Bei kleinen Nadeln, wie man sie bisher immer anwendete, ist dieſs aber selten der Fall, da sie durch den Einfluſs der Wärme und noch mehr durch in der Nähe befindliche Eisenmassen und selbst anderer Körper nicht unbedeutend afficirt werden. Gaufs bedient sich deshalb hierzu in neuester Zeit bei den von ihm ausgeführten Magnetometern 1 bis 4 Fufs langer, 1 bis 25 Pfd. schwerer Magnetstäbe, die wegen ihrer gröfseren Masse von fremden Einflüssen an sich sehr unabhängig und auch noch auf alle Weise dagegen verwahrt sind. Dieser höchst sinnreich zusammengesetzte magnetische Apparat macht allen bis jetzt bekannten und in Anwendung gekommenen ähnlichen Apparaten den Rang streitig, denn indem er die geringsten, im tellurischen Magnetismus eintretenden Veränderungen durch Abweichungen des Magnetometers aus seiner normalen Stellung anzeigt, welche im Winkel bis auf Secunden genau gemessen werden können, so lassen sich durch ihn alle die Gröfsen, die rücksichtlich der erdmagnetischen Kraft in Frage kommen, mit der vollkommensten Präcision bestimmen. — Eine ausführliche Beschreibung aller Theile des Magnetometers findet man in Gaufs's und Weber's Resultaten der Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahr 1836, so wie die späteren Zusätze und Vervollkommnungen in den Jahrg. 1837 u. 1838 dieses Werkes; wer aber nicht im Besitz dieser Schriften sein sollte, wird in folgenden Werken sowohl durch Beschreibung als auch durch Abbildungen hierüber genügende Auskunft erhalten: Fischer's Lehrb. d. mechan. Naturl. 2te Aufl 1840 II. 174—184; Eisenlohr's Lehrb. d. Phys. 2te Aufl. 1839 460—463, 3te Aufl. 1842 469—472; Baumgartner's Naturl. 7te Aufl. 1842. 367—370; Poggendorf's Annal. XXVIII. 241, 591, XXXII, 562; Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 970

Die oben angeführten Oscillations-Versuche mit gewöhnlichen Abweichungsnadeln sind aber noch mit Nutzen dann anwendbar, wenn man annehmen kann, dafs sich die Stärke der

Magnetnadel nicht verändert, wo man die verschiedene Stärke von Magneten gegen einander oder auch den geringen magnetischen Einfluſs anderer Körper ermitteln will, worauf wir noch später kommen werden.

§. 455.

Nach vieljährigen Beobachtungen und gesammelten Erfahrungen hat sich ergeben, daſs in den Aeuſserungen der magnetischen Erdkraft, nämlich der Declination, der Inclination und selbst der Intensität, an denselben Orten der Erde Veränderungen, und zwar theils regelmäfsige, theils unregelmäfsige stattfinden.

Die regelmäfsigen Veränderungen sind solche, welche einem gewissen Gesetze unterliegen, und die sich, sobald dieſs bekannt ist, voraus bestimmen lassen. Professor Baumgartner unterscheidet sie in säculare, die erst nach langer Zeit bemerkbar, aber endlich sehr beträchtlich werden, und in periodische, die innerhalb gewisser Grenzen in bestimmten Zeitabschnitten hin- und herschwanken.

Von den säcularen Variationen sind vorzüglich die der Abweichung aus früheren Zeiten und überhaupt am genauesten bekannt, wogegen sich unsere Kenntnisse über die der Neigung und Intensität gröfstentheils nur auf wenige Daten aus neuerer und der neuesten Zeit beschränken.

Zuerst im 16ten Jahrhundert wurden Aenderungen in der Abweichung der Magnetnadeln wahrgenommen, später aber, im 17. Jahrhundert, der Gang derselben bestimmter erkannt. (Die §. 448 angeführten Abweichungskarten stellen diese Hauptperioden übersichtlich dar.) So war z. B. um das Jahr 1600 die Abweichung in Europa östlich, ungefähr um das Jahr 1663 war sie gleich Null, ging dann in die westliche über, welche auch seitdem bis zu Ende des vorigen Jahrhunderts beständig zugenommen hat. Bald nach Anfang dieses Säculums blieb sie einige Zeit unverändert, seit etwa 20 Jahren ist sie wieder im Abnehmen und wird ohne Zweifel, wenn sie wieder gleich Null geworden ist, und dann die östliche Richtung ihr Maximum erreicht hat, wieder zurückkehren. In London fand dieser Wendepunct 1819, in Paris und dem gröfsten Theil von Deutsch-

land um das Jahr 1814 statt. — In Berlin betrug sie im Jahr 1840 16° 42′, und die jährliche Abnahme ist 3,9′, so dafs sie gegenwärtig (1843) ungefähr 16° 30,6′ sein kann (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. 1090—1086).

Ueber die in längeren Perioden stattgefundene Veränderung der Neigung giebt es aus den früheren Zeiten sehr wenig zuverlässige Beobachtungen, nur so viel weifs man mit Gewifsheit, dafs dieselbe gegenwärtig in Europa abnehmend ist. Im Jahr 1780 betrug die jährliche Abnahme in Europa zwischen 5 bis 6′, im Jahr 1830 nur noch etwa 3′, wonach sich auch die Neigung einem Maximumwerth zu nähern scheint. — Nach der letzten Beobachtung 1840 war die Neigung zu Berlin 67° 53′ mit einer jährlichen Abnahme von 3,5′, so dafs sie gegenwärtig (1843) ungefähr 67° 42,5′ sein kann (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1178—1130).

Noch mangelhafter als die vorigen sind unsere Kenntnisse von den Veränderungen der Intensität, denn ihre Messungen gehören ganz der neuesten Zeit an. Hansteen glaubt aus theoretischen Gründen annehmen zu können, dafs auch sie im Abnehmen begriffen ist, und dafs diese Abnahme in Europa jährlich 0,003695 beträgt (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1141).

Die periodischen jährlichen und täglichen Veränderungen der Declinations-Nadel bestehen in einem Oscilliren östlich und westlich von ihrem mittlen Stande. Die Gröfse der täglichen Variationen ist nach Ort, Tages- und Jahreszeit verschieden, und vorzüglich scheinen sie mit der Wärmeerregung durch die Sonne innig verknüpft zu sein. Im mittlen Deutschland betragen sie im Winter etwa 8′, im Sommer gegen 16′. In südlichen Gegenden, die dem magnetischen Aequator näher liegen, sind die täglichen Oscillationen geringer und unter dem magnetischen Aequator selbst gar nicht vorhanden. Auch die Witterung übt, wie die neuesten Beobachtungen aufser Zweifel setzen, einen bemerkbaren Einfluſs auf diese periodischen Veränderungen der Declinations-Nadel aus. Bei heiterem Himmel, bei Ost- und Nordwind hat man nämlich die Schwankungen gröfser als an trüben Tagen und bei Süd- und Westwinden gefunden, wonach also auch hier der solare Einfluſs mit im Spiele zu sein scheint.

Aus Vergleichung der Declinations-Beobachtungen an mehren Orten haben sich folgende Resultate ergeben:

1.) Die Zeit des Maximums wechselt zwischen 6 und 9 Uhr Morgens und ist im Sommer früher als im Winter.

2.) Die Zeit des Maximums der westlichen Abweichung, die um 1 Uhr 15 Minuten eintritt, ist unabhängig von den Jahreszeiten.

3.) Die Gröfse der Schwankungen ist bedeutender im Sommer als im Winter. Nach Kreil's neuesten Beobachtungen zu Prag (1839 bis 1840) soll sie im Sommer nahe dreimal so grofs als im Winter sein. Die gröfste bis jetzt von Gaufs beobachtete Schwankung während eines Tages betrug 20,1′.

4.) Die Oscillation während der Nacht ist unbedeutend.

5) Des Morgens zwischen 10 und 11 Uhr und des Nachmittags zwischen 6 und 7 Uhr findet die mittlere Abweichung statt.

Ueber die während eines Jahres in den verschiedenen Monaten stattfindenden Variationen geben die genauen Göttinger Beobachtungen von 1834 bis 1837 eine genügende Anschauung. Die Mittelwerthe sind:

December 5,0′, Januar 6,7′, Februar 7,4′, März 11,9′, April 13,9′, Mai 13,5′, Juni 12,5′, Juli 12,1′, August 13,0′, September 11,8′, October 10,3′, November 6,9′.

Hieraus ergiebt sich als Jahresmittel 10,42′, als Mittel für die Wintermonate 8,01′, und als solches für die Sommermonate 12,81′, so wie auch hier die gröfsten Abweichungen auf die wärmsten, die kleinsten auf die kältesten Monate fallen. Die mittlere Abweichung zu Göttingen von 18° 41′ 10,4″ findet nach jenen Beobachtungen in den Monaten April oder Mai und September statt, also in der Zeit, wo auch die mittle Jahrestemperatur gewöhnlich eintritt.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1096—1105, Dove's Repert. d. Phys. II. 192—204. und Kreil's magnet. u. meteorol. Beobacht. I. Jahrg. 1841.)

Die aus dem Einflusse der Witterung entspringenden Schwankungen, wie sie Beobachtungen zu Tübingen während 1831 ergaben, betrugen im Mittel 11,9′ an heiteren Tagen, 10,6′ an trüben, und als jährliches Variationsmittel fand man 12,6′. Nach Dove's Beobachtungen zu Berlin 1830 zeigte sich eine tägliche Variation von 9′ 45″ an heiteren und von 8′ 11″ an trüben Tagen.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1108, 1109; Dove's Repert. d. Phys. II. 263—266.)

Auch die Inclination zeigt nach erst in der neuesten Zeit regelmäfsig angestellten Beobachtungen tägliche Varia-

tionen, die mit denen der Declination zwar nicht ganz z sammenfallen, aber ebenfalls mit der Einwirkung der Son auf die Erdoberfläche in Verbindung zu stehen scheinen.

Kupffer's Beobachtungen zufolge war in Petersburg 1 das Maximum der Neigung um 10 Uhr Morgens, das Minim um 10 Uhr Abends, und im Sommer gröfser als im Winter, sie fast ganz verschwindet, überhaupt aber ist diese Schwan ung sehr gering, indem sie die Gröfse von 4′ wenig übersti Die zu Prag von Kreil seit 1839 stündlich angestellten Inc nations-Beobachtungen (s. Baumgartner's Naturlehre) e gaben folgende Resultate. Die Inclination erreicht täglich e dreimaliges Maximum und Minimum. Im Sommer tritt d erste Maximum zwischen 8 und 9 Uhr, im Winter zwisch 10 und 11 Uhr Vormittags ein; um Mittag tritt das dritte Max mum ein, das in manchen Monaten die beiden andern übe steigt, und hierauf in den Morgenstunden das dritte Minimu (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1231, Dove's Repe d. Phys. II. 204, und Kreil's magnet. etc. Beobacht. I. Jah gang 1841.)

Nach ebenfalls erst in der neuesten Zeit angestellt ausführlichen Versuchen ist es nicht mehr in Zweifel z ziehen, dafs auch mit der Intensität des tellurischen Magn tismus periodische Veränderungen vorgehen. Als Resul derselben hat sich ergeben, dafs das Eintreten eines b stimmten Wechsels von einem Minimum und Maximum gewissen Tages- und Jahreszeiten stattfindet, und dafs d Intensität, analog den übrigen magnetischen Aeufserunge im Sommer gröfser als im Winter zu sein scheint.

Nach Kupffer's Beobachtungen, welche derselbe 1831 1832 zu Petersburg mit einem sehr genauen Inclinatorium a stellte, zeigt sich, dafs die Totalkraft der Intensität Aben gröfser ist als am Morgen, und dafs sie vom April bis zum Septe ber ab-, von da an aber wieder bis zum April wahrscheinli zunimmt. Auch will Kupffer aus seinen Beobachtungen ei die Intensität schwächende Einwirkung des Mondes gefund haben (s. Dove's Report. d. Phys. II. 207–209). Nach Mos und Riefs findet in Königsberg das Maximum der Intensit Abends 8 Uhr, das Minimum Morgens 9 Uhr statt. — Die E gebnisse neuerer Versuche Kreil's, wie sie Professor Baun gartner anführt, sind folgende: Dreijährige Beobachtungen d *horizontalen* Intensität zu Mailand und dann die Beobachtung

zu Prag (1839 u. 1840) sowohl über diese, als auch über die Totalkraft des Erdmagnetismus lehren Folgendes: Die horizontale Intensität der erdmagnetischen Kraft zeigt eine tägliche Variation mit einem Minimum und einem Maximum. Ersteres tritt im Sommer um 10 Uhr Vormittags, letzteres um 8 Uhr Abends ein; im Winter erfolgen diese Extreme etwas später. Die Intensität der Totalkraft gelangt in den ersten Morgenstunden zu einem Maximum, Nachmittags zu einem Minimum, worauf Abends um 8 Uhr ein zweites Maximum zu folgen scheint; doch bedarf der letztere Punct noch fernerer Untersuchung. An dem Gange der Variationen der horizontalen Intensität läfst sich auch der Einfluſs des Mondes deutlich erkennen (s. Baumgartner's Naturl. etc. 7te Aufl. 374, und Kreil's magnet. etc. Beobacht. I. Jahrg.)

Was endlich noch die oben angeführten unregelmäfsigen Variationen betrifft, so bestehen diese in zufälligen, meist nach kurzer Zeit vorübergehenden Störungen der erdmagnetischen Kraft, welche sowohl durch die Declinations-, als auch durch die Inclinations-Nadeln angezeigt werden. Solche Störungen treten vorzüglich bei Polarlichtern, dann auch bei Erdbeben, bei vulkanischen Ausbrüchen, bei plötzlichen Temperaturwechseln, bei Gewittern und bei Veränderung der Windrichtung ein.

Während eines Polarlichtes beträgt die Schwankung der Declinations-Nadel bisweilen 5 bis 6°, und das Phänomen äufsert seinen Einfluſs selbst an Orten, wo es nicht einmal sichtbar wird. Auch hat Kämtz entdeckt, dafs die Winde einen merklichen Einfluſs auf die Declinations-Nadel ausüben, und zwar dafs sie bei Nord und Nordost östlicher als bei West und Südwest zeige. Die noch genannten Ursachen unregelmäfsiger Schwankungen der Magnetnadeln üben nicht immer einen solchen Einfluſs aus und bewirken nie so beträchtliche Störungen als die Polarlichter.

Die Ursache zu solchen, sich weit erstreckenden Störungen der Magnetnadeln glaubt Kupffer seien eine Folge plötzlicher und augenblicklicher Verrückungen in den magnetischen Linien der Erdoberfläche, indem sich dadurch am natürlichsten die Gleichzeitigkeit dieser Erscheinungen auf sehr von einander entfernten Puncten der Erde erklären, und zugleich den entgegengesetzten Gang, den die Abweichungsnadel bei den unregelmäfsigen Störungen an Orten zeigt, welche in Bezug auf jene magnetischen Linien eine entgegengesetzte Lage haben,

wie z. B. Petersburg und Peking (s. Dove's Repert. d. Phys. II. 210). — Ausführlichere Nachrichten über solche beobachtete Störungen findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1109—1111., VII. 221—234; Marbach's phys. Lex. I. 23; Kämtz's Meteorologie III. 447—468; Fischer's mechan. Naturl. 2te Aufl. II. 197.

Schon oben (§. 437) wurde angeführt, dafs seit nunmehr beinahe 10 Jahren der unermüdliche A. v. Humboldt der Begründer eines magnetischen Vereins wurde, der sich bereits über den gröfsten Theil der Erde verbreitet hat. Der Zweck desselben ist, die Ursachen der verschiedenartigen magnetischen Veränderungen des tellurischen Magnetismus zu erforschen und dadurch vielleicht auch zu ermitteln, welche wichtige Rolle derselbe in dem Leben unserer Erde überhaupt spielt. Zu diesem Behufe werden an den verschiedenen Orten, und sogar unter der Erdoberfläche, gleichzeitige Beobachtungen mit Gaufsischen Magnetometern angestellt. Aus den Mittheilungen dieses Vereins hat sich bereits ergeben, dafs nicht nur gröfsere Veränderungen in der magnetischen Erdkraft, sondern auch kleinere, selbst blose Störungen, gleichzeitig an weit von einander entfernten Puncten eingetreten sind. Obgleich nun diese beobachteten Veränderungen nicht überall in gleicher Gröfse eintreten, so zeigen sie doch hinsichtlich ihrer Aufeinanderfolge einen unverkennbaren Zusammenhang und geben eine merkwürdige Uebereinstimmung dieser Phänomene auf der ganzen Erdoberfläche zu erkennen (Resultate d. Beobacht. d. magnet. Vereins von Gaufs u. Weber 1836—1840).

§. 456.

Es wäre nun noch die Frage zu beantworten übrig, wie man sich den unserer Erde inwohnenden Magnetismus vorzustellen habe, um daraus sowohl seine constanten als auch seine veränderlichen Wirkungen consequent erklären zu können. Alle die bisher darüber aufgestellten Ansichten schreiben der Erde einen selbstständigen Magnetismus zu, und zwar nimmt man den Sitz dieser Kraft in dem Innern der Erdmasse an. Unter diesen Theorieen ist die von Hansteen aufgestellte die vollständigste und gründlichste. Es nahm dieser sorgfältige Erforscher aller magnetischen Erscheinungen nämlich an, dafs die Erde durch eine in *ihrem* Innern befindliche, in vier Puncten nach aufsen her-

vortretende Kraft magnetisch sei. Ferner supponirte er, dafs sich diese Kraft in gleicher Stärke nach zwei verschiedenen Richtungen oder Axen äufsere, deren Pole tief unter der Erdoberfläche lägen und denen die vier magnetischen Convergenzpuncte auf ihr entsprächen. Um die Veränderungen in der Abweichung, Neigung und Intensität zu erklären, ertheilt er diesen im Erdinnern sich durchkreuzenden Axen, und somit auch ihren nach der Oberfläche hin wirkenden Polen eine Bewegung, wobei er die beiden Magnetpole der nördlichen Halbkugel sich nach Osten, die in der südlichen nach Westen bewegen läfst. Gelang es nun zwar nach diesen Annahmen, die früher bekannten Erfahrungen in Bezug auf die verschiedenen Aeufserungen des tellurischen Magnetismus, so wie die gröfseren regelmäfsigen Aenderungen desselben ziemlich befriedigend zu erklären, so ist doch auf der andern Seite nicht zu verkennen, dafs durch die Summe der in neuerer Zeit gewonnenen Kenntnisse über den Geomagnetismus durch das noch weiter unten zu erklärende Verhalten solcher Körper, denen man in dem früher angegebenen Sinne keine magnetische Kraft zuschreibt, sich mehre gewichtige Gründe herausgestellt haben, die gegen die Annahme eigentlicher magnetischer Axen der Erde und überhaupt gegen den Sitz des Magnetismus im Innern derselben streiten. Eines der wichtigsten Argumente gegen diese Annahme liegt hauptsächlich in den nun völlig constatirten regelmäfsigen jährlichen und täglichen Variationen der magnetischen Abweichung und Neigung, deren Uebereinstimmung und Zusammenhang über die ganze Erdoberfläche aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins (siehe den Schlufs des vorigen Paragraphen) sich herausgestellt hat. Diese Ergebnisse, so wie das auffallende nahe Zusammentreffen der nördlichen Convergenzpuncte mit den Puncten der geringsten Oberflächen-

wärme der Erde und der immer mehr hervorgetretene Einfluſs der Wärme auf das Verhalten der erdmagnetischen Aeuſserungen und der Magnete überhaupt (s. das folgende Capitel §. 457, 467) haben in der neuesten Zeit zu einer, wie es wenigstens vor der Hand scheint, naturgemäſseren Erklärung des Erdmagnetismus geführt, deren Grundzüge ungefähr die folgenden sind. Man kann sich nämlich als den Sitz des Geomagnetismus die Erdrinde denken und annehmen, daſs in der nördlichen Erdhälfte nördlicher, in der südlichen südlicher Magnetismus vorherrsche und seine Stärke vom Aequator nach den Polen hin zunehme, jedoch nicht in beiden Erdhälften gleichförmig, sondern auf der nördlichen Halbkugel in andern Verhältnissen als auf der südlichen. An jeder Stelle der Erdoberfläche bestimmt sich die Resultirende dieser Wirkung aus der Trennung der beiden magnetischen Fluiden in den Theilchen der Erde bis zu einer gewissen Tiefe, die, wenn auch nicht hervorgerufen, doch bedingt durch die mittele Wärme der Erdschicht wird. Axen und Pole, auf welche die Anzeigen der Magnetnadeln bezogen werden, hätten daher nicht physische Realität, sondern wären gewissermaſsen nur mathematische Vorstellungen und deuteten diejenigen Stellen an, wo sich die Gesammtwirkung der einzelnen Kräfte vereinte. Die Vertheilung dieser Kraft muſs dann natürlich auch durch die Wärmeerregung der Sonne beständigen Veränderungen unterliegen, die eben so periodisch wiederkehren wie jene Einwirkung der Sonne. Hiernach wären mithin die Aenderungen der erdmagnetischen Kraft abhängig von dem Temperaturzustande der Erdrinde; die täglichen Schwankungen erklärten sich aus der täglichen Ab- und Zunahme der Wärme, die jährlichen durch periodische Aenderungen der mittlen Jahreswärme; die Lage und Gestalt des magnetischen Aequators und überhaupt das

ganze System der isoklinischen Linien bestimmte sich nach dem Gesetze der Wärmevertheilung in beiden Erdhälften; endlich würde auch noch die Beschaffenheit und Gröſse der Abweichung so wie die Lage der sich darauf beziehenden isogonischen Linien ihre Erklärung in der Wärmevertheilung nach der Lage überhaupt finden.

Ob aber der Magnetismus ausschlieſslich unserer Erde und den terrestrischen Körpern überhaupt angehöre, also nur tellurisch sei, oder ob diese Kraft auch andern Weltkörpern inwohne, mithin kosmisch sei, dieſs hat bis jetzt auf directe Weise noch nicht ermittelt werden können; inzwischen glaubt man doch einige kosmisch-magnetische Einwirkungen wahrgenommen zu haben (s. Dove's Rep. d. Phys. II. 209), und die mehrfachen Uebereinstimmungen in der Gestalt, der Bewegung, der Lage der Drehungsaxen der Weltkörper lassen allerdings vermuthen, daſs diese Naturthätigkeit nicht bloſs unserm Planeten, sondern dem ganzen Weltraume zukomme.

Nachstehende Werke enthalten diese verschiedenen Theorieen weitläufiger entwickelt und durch specielle Angaben belegt: Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1023—1085; Poggendorf's Annal. XXVIII. 273, XXXIV. 63; Dove's Repert. d. Phys. II. 228; Gauſs's u. Weber's Result. d. magn. Vereins für 1838.

IV. Von der künstlichen Erregung des Magnetismus, den Mitteln, ihn zu erhalten und zu verstärken, so wie den verschiedenen Ursachen, wodurch derselbe geschwächt oder sogar vernichtet wird.

§. 457.

Die Stärke oder Intensität des Magnetismus, die ein magnetisirbarer Körper anzunehmen fähig ist, hängt von der Coercitivkraft (§. 446) seiner Materie ab.

Je geringer diese Kraft oder der ihr entsprechende Wide
stand gegen die Trennung der magnetischen Flüssigkeit
in einem Körperstoffe ist, desto leichter wird er magn
tisch, desto eher verliert er aber auch wieder theilwei
oder ganz den Magnetismus oder seinen polaren Zustand
je gröſser die Coercitivkraft oder je beträchtlicher der scho
näher bezeichnete Widerstand ist, desto schwerer wird e
magnetisch, von desto längerer Dauer ist aber auch de
einmal angenommene Magnetismus, oder desto länger ver
harren die polaren Kräfte in ihrem Trennungszustand
Die Coercitivkraft zeigt sich demnach bei nicht magneti
schen Körpern als ein Hinderniſs gegen die Annahme de
Magnetismus, bei magnetischen dagegen ist sie die Ursach
welche den Spannungszustand der beiden polaren Kräf
auf einer gewissen Gröſse zu erhalten sucht. Barlow
Angaben zufolge besitzt reines weiches Eisen die schwächst
Coercitivkraft, darauf folgt ungehärteter, dann gehärtete
Stahl und zuletzt Guſseisen.

Verschiedenartigen Beobachtungen zufolge hat sich ab
ergeben, daſs die Coercitivkraft der magnetisirbaren Kö
per durch den Einfluſs der Wärme verändert, und zw
überhaupt durch Erhöhung der Temperatur geschwäch
wird, so daſs es für jeden dieser Körper eine gewisse Tem
peratur giebt, bei der sie ganz verschwindet, wo die Kö
per sich dann völlig unempfindlich gegen den Einfluſs d
stärksten magnetischen Kräfte, und sogar unfähig zeige
die geringste Spur von Magnetismus anzunehmen. Fü
Eisen und Stahl, als die in dieser Beziehung wichtigst
Stoffe, ist diese magnetische Grenze, bei der sie no
fähig sind, Magnetismus anzunehmen, mit der Temperat
des kirschrothen Glühens (ungefähr 800° C. §. 377) erreicht
In der Nähe dieser Temperaturgrenze besitzen sie ei
Coercitivkraft, wo sie fähig sind, den stärksten Magnetism

anzunehmen, über diese Temperatur hinaus, und zwar im weifsglühenden Zustande, sind Eisen und Stahl ganz unempfänglich für Magnetismus. So zeigt mithin auch hier die Wärme im Allgemeinen einen entschiedenen Einfluss auf die Fähigkeit der Körper, magnetische Eigenschaften anzunehmen, aber niemals tritt dieselbe als Magnetismus hervorbringende, sondern nur als ihn modifirende Ursache auf, und zwar deutet diese verschiedene Magnetisirungsfähigkeit auf einen Zusammenhang mit dem durch die Wärme veränderten Cohäsionszustand der Körperstoffe (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 836–873).

Eben so besitzt auch jeder magnetisirbare Körper eine Grenze für die Menge des Magnetismus, welche er aufnehmen und festhalten kann. Diese Grenze ist der Sättigungspunct, und derselbe muss nach Vorigem zugleich von der vorhandenen Coercitivkraft abhängig sein. Ob ein Körper den Sättigungsgrad erreicht, wird hauptsächlich bedingt durch die Stärke und Dauer der einwirkenden magnetischen Kraft, indem zu schwache und zu kurze Zeit einwirkende magnetische Kräfte diesen zu erzeugen nicht vermögen. Es kann aber auch ein Körper mit Magnetismus gewissermafsen übersättigt werden, d. h. es kann eine seine Coercitivkraft überschreitende Spannung der magnetischen Polarkräfte eintreten, wo dann dieser Ueberfluss oder die zu grofse Spannung nach kürzerer oder längerer Zeit wieder verschwindet, sobald die magnetisirende nicht mehr auf ihn einwirkt und der durch sie hervorgerufene Spannungszustand nicht erhalten wird. Ein Zurückhalten oder Binden des vorhandenen polaren Gegensatzes läfst sich aber dadurch bewirken, dass man die Pole des zu magnetisirenden Körpers durch einen andern von geringer Coercitivkraft, wozu weiches Eisen am geeignetsten ist, verbindet.

Hieraus folgt denn nun, dafs man sich des weichen reinen Eisens da wird zu bedienen haben, wo es darauf ankommt, die magnetische Kraft schnell und vorübergehend zu erregen, dafs man aber in allen den Fällen den gehärteten Stahl anzuwenden haben wird, wo man dauernden Magnetismus zu erlangen beabsichtigt. Daher bestehen auch alle künstlichen Magnete gewöhnlich aus gehärtetem Stahl, obschon auch Nickel und Kobalt ebenfalls die Eigenschaft besitzen, dauernden Magnetismus anzunehmen.

Der zur Anfertigung künstlicher Magnete geeignetste Stahl mufs von feinem Korne, durchaus gleichartig, ohne Eisenadern und ohne Risse oder Unterbrechung seiner Continuität sein. Ferner ist ein Haupterfordernifs, dafs er den gehörigen Grad von Härte und eine gleichförmige Härtung in seiner ganzen Masse besitze; denn zu grofse Härte ist der Empfänglichkeit für den Magnetismus, zu geringe Härte der Dauer desselben nachtheilig. Erfahrungen zufolge soll es am besten sein, den Stahl erst glashart zu machen und ihn nachher wieder so lange zu erwärmen, bis er eine strohgelbe oder violette Farbe annimmt.

Aber auch die Dimensionen und Formen, welche man den künstlichen Magneten giebt, sind von Einfluſs auf den Sättigungsgrad, den sie anzunehmen fähig sind, und auch auf die Erhaltung des in ihnen erregten Magnetismus. Magnetstäbe sollen deshalb ungefähr ein Zwanzigtheil ihrer Länge zur Breite und ein Viertel bis ein Drittel der letzteren zur Dicke erhalten, so wie bei Hufeisenmagneten die Entfernung der Pole der Lamelle der Breite derselben gleich sein mufs oder doch nicht viel gröfser angenommen werden darf. Aufserdem ist es auch noch nothwendig, dafs sowohl die Stäbe als auch die Lamellen der Hufeisen in ihren Flächen möglichst eben und gut abgeschliffen seien.

Das die Pole verbindende Eisen, welches hauptsächlich bei Hufeisenmagneten angewendet wird, der sogenannte Anker oder das Trageisen, ist dazu bestimmt, den erregten Magnetismus zu binden, indem es selbst an den berührenden Polflächen den entgegengesetzten Magnetismus annimmt. Soll es diesen Zweck vollkommen erfüllen, so mufs es von möglichst reinem und weichem Eisen angefertigt werden und die Polflächen wenigstens in einer Linie völlig berühren. — Mehres in dieser Beziehung sehr Beachtenswerthes enthalten die beiden kleinen Schriften: v. Vest's Verfahren, dem Eisen dauernden

Magnetismus in möglichst gröfstem Mafse binnen sehr kurzer Zeit beizubringen, Wien 1833 S. 9—14, und Fischer's prakt. Anleitung zur vortheilhaften Verfertigung u. Zusammenfügung künstl. Magnete, Heilbr. 1833 S. 10—31.

§. 458.

Es giebt mehre Mittel und Methoden unmagnetische, aber für Magnetismus empfängliche Körper in magnetischen Zustand zu versetzen. Unter ihnen sind diejenigen die wirksamsten, welche die Coercitivkraft der zu magnetisirenden Körper am schnellsten und vollständigsten überwinden. Die bis jetzt bekannten sind folgende: 1.) durch unmittelbare Berührung oder Mittheilung von andern natürlichen oder künstlichen Magneten, 2.) durch bloſse Annäherung an magnetische Körper oder durch Inductions-Wirkung, 3.) durch mancherlei mechanische Manipulationen, 4.) durch Einwirkung des Sonnenlichtes, und 5.) durch Elektricität.

§. 459.

Das anwendbarste und gebräuchlichste Mittel, dessen man sich bei Anfertigung künstlicher Magnete bedient, ist die Magnetisirung durch Mittheilung. Es erfolgt dieselbe auf dreierlei Weise, nämlich entweder durch bloſse Berührung oder durch Bestreichung mit dem Pole eines natürlichen oder künstlichen Magnets, oder dadurch, daſs der zu magnetisirende Körper, während er mit dem Pole eines solchen Magnets in Berührung steht, mit einem Stücke weichen Eisens gestrichen wird.

Bei der bloſsen Berührung nimmt der Stahl an dem berührten Ende den entgegengesetzten Magnetismus des berührenden Pols an, wogegen an dem andern Ende die gleichnamige Polarität entsteht. — Es tritt nämlich durch die Einwirkung des berührenden Pols zunächst an der Berührungsstelle eine Störung des magnetischen Gleich-

gewichts ein, der ungleichnamige Magnetismus wird angezogen, der gleichnamige abgestofsen, und ist der zu magnetisirende Körper nicht zu grofs, so pflanzt sich diese Inductions-Wirkung durch die ganze Masse auf gleiche Weise fort.

Erster Versuch. Man berühre das eine Ende einer Nähnadel mit dem Nordpol eines Magnets — nach der Trennung zeigt sich das berührte Ende als ein Südpol, das andere als ein Nordpol.

Zweiter Versuch. Berührt man eine Stahlnadel in ihrer Mitte mit einem Magnetpole, so nimmt sie an dieser Stelle die entgegengesetzte, an ihren Enden aber die gleichnamige Polarität an. — Man erhält dadurch einen Magnet mit drei Polen und zugleich auf einfache Weise eine mehr oder weniger vollkommene astatische Magnetnadel (§. 453).

Dritter Versuch. Auf eine reine glatte Stahlplatte zeichne man mit dem Pole eines kräftigen Magnets irgend eine Figur. Streut man nun feine Eisenfeile darauf, so bleibt diese an den Stellen hängen, über welche der Magnetpol hinweggeführt wurde (s. Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. VII. 367).

Bei diesem Verfahren wird aber dem Stahle nicht die stärkste magnetische Kraft mitgetheilt, wogegen dieses kräftiger durch das sogenannte Streichen zu erreichen ist, indem man mit dem Pole eines Magnets zu wiederholten Malen über den zu magnetisirenden Stahl hinwegfährt. Je nachdem man dieses mit einem einzigen Magnetpole oder mit zwei entgegengesetzten Polen auf einmal vornimmt, heifst der Strich der einfache oder der Doppelstrich.

Um sich den hierbei stattfindenden Vorgang des Magnetischwerdens eines Körpers zu veranschaulichen, wie er der §. 446 ausgesprochenen hypothetischen Annahme entsprechen würde, kann man sich denken, dafs der streichende Magnetpol, indem er über die Fläche des zu magnetisirenden Stahles hinweggeführt wird, die polaren Kräfte in jedem Stahltheilchen so trennt, dafs nach der Richtung, in welcher er fortbewegt wird, stets der entgegengesetzte Magnetismus des streichenden Pols entsteht. Dem scheint auch ganz die Bewegung zu entsprechen, welche Eisenfeile annehmen, die dünn auf eine Glastafel gestreut sind, sobald man mit dem Pole eines Magnetstabes unter den Feilspänen hinwegfährt. An den Stellen, wo sich der Pol

befindet, sieht man, dafs sich die Eisentheilchen in die Höhe richten; die dem Pole zugekehrten Enden haben dann den entgegengesetzten, die oberen den gleichnamigen Magnetismus angenommen. So wie aber der Pol weiter bewegt wird, legen sich sämmtliche Eisentheilchen so nieder, dafs sie ihr entgegengesetztes Polende dem fortrückenden Magnetpole zukehren.

Der einfache Strich wird ausgeführt, indem man in die Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes den einen Pol eines Magnets aufsetzt, ihn von da bis über das eine Ende des Stabes gleichförmig fortbewegt, dann in einem Bogen durch die Luft wieder nach der Mitte zurückbringt und nun abermals nach derselben Richtung streicht. Hat man dieses Verfahren mehrmals wiederholt, so setzt man den andern Pol auf die Mitte des Stabes auf und verfährt mit diesem auf gleiche Weise. Auch kann man zugleich zwei Magnete mit ihren entgegengesetzten Polen auf die Mitte aufsetzen und nach entgegengesetzten Richtungen hin bewegen. Jedes Ende eines so gestrichenen Stabes erhält denjenigen Pol, welcher dem entgegengesetzt ist, womit er gestrichen wurde, d. h. das mit dem Nordpol gestrichene wird ein Südpol, das mit dem Südpol gestrichene ein Nordpol. Kräftiger fällt hierbei die Magnetisirung aus, wenn man die Enden des Stabes auf die Pole zweier Magnete legt oder gegen diese stemmt, welche denen entgegengesetzt sind, die der Stab an diesen Stellen erhalten soll. — Es ist dies dasjenige Verfahren, welches man gewöhnlich bei Anfertigung von Magnetnadeln anwendet.

Um einen einzelnen geraden Stahlstab mittels des Doppelstrichs zu magnetisiren, verbindet man entweder zwei Magnetstäbe oder zwei Hufeisenmagnete so mit einander, dafs zwei ihrer ungleichnamigen Pole etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Abstand von einander behalten, was am einfachsten durch ein zwischen sie gebrachtes Stückchen Holz oder Pappe erreicht wird. Diese so einander hinlänglich nahe gebrachten Pole setzt man in der Mitte quer auf den zu magnetisirenden Stab auf und bewegt nun beide nach einem Ende desselben hin; doch darf keiner der beiden Pole über das Ende des Stabes hinaus gleiten. Von da führt man den Magnet zurück nach dem andern Ende u. s. f. Statt zweier Magnete kann man sich hierzu auch eines einzigen hufeisenförmigen Magnets bedienen, dessen Pole aber ziemlich nahe beisammen stehen müssen. In beiden Fällen aber streicht man das letzte Mal nur bis zur Mitte und schiebt von da den Magnet seitwärts herunter. Die Pole werden hier ebenfalls den vorangehenden des streichenden Magnets entgegengesetzt. Auch bei dieser Streichmethode ist es vortheilhaft, die Polenden des Stabes, so wie es bei dem einfachen Striche angegeben wurde, mit den Polen zweier anderer Magnete in

Verbindung zu setzen. — Eine besondere Modification die
Verfahrens ist noch der sogenannte Kreisstrich, der sich a
durch nichts weiter empfiehlt, als dadurch, dafs man dabei z
Magnetstäbe auf einmal streichen kann, was jedoch noch
facher und erfolgreicher auf andere Weise geschehen kann,
in dem Folgenden angegeben werden wird.

Die hufeisenförmige Gestalt eines Stabes ist zum Magn
siren besonders vortheilhaft, weil die beiden nahe neben
ander liegenden Pole während des Streichens durch einen An
geschlossen werden können, was wesentlich dazu beiträgt,
höchsten Sättigungsgrad bald zu erreichen. Auch bei dieser Fo
können die vorigen Streichmethoden angewendet werden, e
facher und weit wirksamer ist aber folgendes von Hoff
angegebene Verfahren (s. Baumgartner's Zeitschr. f. Ph
n. F. II. 197, III. 193). Hat man eine einzelne Lamelle
Fig. 276a zu streichen, so legt man dieselbe auf einen Ti
und schliefst ihre Polflächen durch einen Anker *A*. Hier
setzt man den hufeisenförmigen Streichmagnet *M*, dessen Sch
kel eigentlich denselben Abstand wie die der zu streichen
Lamelle haben müssen, mit seinen Polen dicht an dem An
auf die Schenkel derselben senkrecht auf, und führt ihn nun
dieser Stellung in gleichmäfsigem Zuge nach der Wölbung
und über diese hinaus. Dann wird der Streichmagnet, o
die Lamelle zu berühren, wieder in seine vorige Stellung
bracht und dasselbe Verfahren wiederholt. Nach 4 bis 6
chen Strichen auf jeder Seite hat dann meist das Hufeisen
unter dem Einflusse des Streichmagnets mögliche Stärke
reicht, und zwar erhält jeder Schenkel die mit dem aufgese
ten Pole des Streichmagnets gleichnamige Polarität. Man k
aber auch mit dem Streichen gerade auf die entgegengeset
Art verfahren, den Streichmagnet *M* Fig. 277 mit seinen Po
an der Wölbung *N* auf die Schenkel stellen und über i
Enden hinführen, wobei ein Vorlegen des Ankers nicht un
dingt nothwendig wird; dann erhält jeder Schenkel des H
eisens die dem aufgesetzten Pole entgegengesetzte Polari
Will man zwei gleiche Lamellen streichen, so legt man sie
ihren Polflächen so an einander, dafs sie eine geschlossene Cu
bilden, Fig. 277, führt hierauf nach der zuletzt beschriebe
Weise den Streichmagnet *M* über beide Lamellen hinweg,
vollführt bei derselben Stellung den Strich wieder rückwä
wodurch dann beide Lamellen nach beiden Arten gestrich
werden. — Da bei grofsen und schweren Streichmagneten
10 und mehr Pfunden diese Manipulation beschwerlich
selbst unausführbar wird, so kann dann die von v. Vest an
gebene Abänderung vortheilhaft angewendet werden, indem m
nämlich den Streichmagnet *M* Fig. 276b dergestalt auf ein

Tisch legt, dafs die beiden Pole etwas über den Rand desselben vorstehen, und jenem Magnet dadurch eine feste Lage verschafft, dafs man auf seine Wölbung ein Gewicht stellt, oder ihn mittels einer Schraubenzwinge an den Tisch anpreſst. Dann nimmt man das zu streichende Hufeisen *N*, legt vor dessen Pole einen Anker, und setzt es in verticaler Lage mit seinen Polen so an den Streichmagnet, dafs die bezeichneten gleichnamigen Pole zusammen kommen, die Pole mit dem Anker nach unten und die Wölbung nach oben gekehrt ist. In dieser Lage wird nun die zu streichende Lamelle in gleichmäfsigem Zuge an den Polen des Streichmagnets herunter geschoben, wie die Pfeile an der Figur andeuten, bis die Wölbung die Polflächen des Streichmagnets verläfst. Jetzt wendet man die zu streichende Lamelle *N* um, so dafs der Anker nach oben, die Wölbung nach unten gekehrt ist, bringt wieder die beiden gleichnamigen Pole an einander, wie diefs die Figur in umgekehrter Lage betrachtet, zeigt, und schiebt ebenfalls in gleichförmigem Zuge die Lamelle von unten in die Höhe, bis ihre Wölbung abermals über die Pole des Magnets hinweggleitet. Alsdann wird die Lamelle wieder in die zuerst beschriebene Lage gebracht, wobei man nur immer genau darauf zu sehen hat, dafs die gleichnamigen Pole an einander zu liegen kommen, und verfährt hierauf abermals, wie eben beschrieben. Auf dieselbe Art läfst sich auch hier der entgegengesetzte Strich anwenden, wobei man gleichfalls den Anker nicht vorzulegen braucht, aber die mit der ungleichnamigen Polarität bezeichneten Schenkel an die Pole ansetzen mufs. — Welche von den beiden jetzt beschriebenen Streichmethoden die wirksamste sei, soll nach v. Vest's Erfahrungen von der Individualität der Lamellen abhängen, indem er gefunden zu haben glaubt, dafs manche einen stärkeren Magnetismus annehmen, wenn man sie nach dem ersten, andere, wenn man sie nach dem letzten Verfahren magnetisirt. — Die von Mohr empfohlene Streichmethode ist der zweiten Hoffer's ganz ähnlich, nur mit dem Unterschiede, dafs man, bevor der Streichmagnet vom Hufeisen abgezogen wird, beiden einen Anker vorlegt, so dafs sie nach ihrer Trennung geschlossen bleiben (s. Poggendorf's Annal. XXXVI. 542).

Das Princip dieser Streichmethoden läfst sich auch dann anwenden, wenn man zwei oder mehre gerade Magnetstäbe zugleich zu streichen hat. Man legt dieselben hierzu in paralleler Lage auf einen Tisch und setzt einen Hufeisenmagnet mit seinen Polen in aufrechter Stellung, so wie es Fig. 278 darstellt, in der Nähe des Ankers auf die Stäbe, deren Enden durch einen zweiten geschlossen werden. Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichmäfsigem Zuge gegen das andere Ende über den Anker hinaus, bringt ihn nun, ohne die Stäbe s
am befsten seitwärts, auf die erste Stelle zurück,

holt dieses Verfahren einige Male. Eben so werden auch die andern Seiten der Stäbe, indem man dieselben wendet, ohne sie von ihren Schliefsungen zu trennen, gestrichen. Hierbei erhalten die Stellen, wo die Pole des Streichmagnets die Stäbe zuerst berühren, eine den betreffenden Polen gleichnamige Polarität.

Eine besondere Art von Magnetstäben, die man gleichfalls durch Streichen darstellt, sind die sogenannten Transversal-Magnete. Bei ihnen liegen die Pole nicht an den Enden, sondern an den Seiten, und zwar ist auf diesen immer eine gerade Anzahl von Polarlinien vorhanden. Sie entstehen, wenn man 2, 4, 6 etc. Magnetstäbe durch einen Ring in der Richtung seiner Halbmesser steckt, so dafs ungleichnamige Pole einander gegenüber stehen und so viel Zwischenraum lassen, dafs der zu magnetisirende Stab, sie berührend, hindurchgezogen werden kann.

In folgenden Schriften findet man Alles, was bei Anfertigung künstlicher Magnete zu befolgen ist, noch ausführlicher beschrieben: Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 912—951; v. Vest's Verfahren, dem Eisen dauernden Magnetismus beizubringen etc. Wien 1833; Fr. Fischer's prakt. Anleit. z. vortheilhaften Verfertigung künstl. Magnete, Heilbr. 1833.

Die dritte der vorigen ähnliche Methode besteht darin, dafs man den zu magnetisirenden Stahl an den Pol eines Magnets ansetzt und ihn nun von diesem abwärts mit einem Stück weichen Eisens, z. B. mit dem Anker des Magnets, zu wiederholten Malen streicht. Bei diesem Verfahren, welches man den Ankerstrich nennen könnte, nimmt Stahl einen wenigstens eben so starken Magnetismus an als bei den vorigen Streichmethoden.

Um Stäbe zu magnetisiren, verfährt man am befsten auf folgende Weise: Man legt den Magnet, von welchem aus die Mittheilung erfolgen soll und wozu ein Hufeisenmagnet am geeignetsten ist, mit beiden Schenkelflächen auf einen Tisch, wie *MM* Fig. 279 darstellt, bringt an die Pole desselben die zwei Enden der zu magnetisirenden Stäbe *SS* von gleichen Dimensionen, und schliefst die beiden andern Enden durch ein Stück weichen Eisens oder durch einen Anker *E*. Nun wird der Anker *A*, mit dem das Streichen ausgeführt werden soll, dicht an den Polen des Hufeisens quer über die Stäbe aufgesetzt und dann in gleichmäfsigem Zuge von da nach den andern Enden hin, wie der Pfeil bezeichnet, bis über das vorgelegte Eisen parallel fortgeschoben, hierauf, ohne die Stäbe zu berühren, wieder an die erst bezeichnete Stelle gebracht, und auf gleiche Weise mit ihm der Strich wiederholt. Nachdem dieſs vier- bis sechs-

mal geschehen ist, streicht man eben so auch die andern Seiten der Stäbe, wozu man diese umwendet, ohne sie jedoch von ihren Schliefsungen zu trennen. Die Magnetisirung ist jetzt beendet, und es können nun die Stäbe, nachdem das Hufeisen ebenfalls durch einen Anker geschlossen worden, seitwärts abgeschoben werden. Die so erhaltenen Magnetstäbe haben dann an den Berührungsstellen mit dem Hufeisen den entgegengesetzten Magnetismus desselben angenommen, wie sich auch schon nach dem Gesetze der magnetischen Vertheilung ergiebt und in Fig. 279 durch + und — angedeutet ist.

Will man eine hufeisenförmige Lamelle nach dieser Methode magnetisiren, so legt man, wie Fig. 280 zeigt, diese mit ihren Polen so an die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets an, dafs die bereits bezeichneten ungleichnamigen Pole einander gegenüberstehen und beide Hufeisen also eine geschlossene Curve bilden. Jetzt wird der Anker auf gleiche Weise wie bei dem Streichen der Stäbe aufgesetzt und über die Wölbung der zu streichenden Lamelle hinausgeführt, an seine vorige Stelle gebracht und so fortgefahren. Um die Flächen der andern Seite zu streichen, werden beide Hufeisen, ohne dafs sich ihre Pole trennen, umgewendet, oder man schliefst beide vor ihrer Trennung durch einen Anker, wendet sie um, legt sie dann auf die vorher angegebene Weise an einander und vollführt das Streichen, wie es angegeben wurde.

Es empfiehlt sich diese Streichmethode durch ihre Einfachheit und durch die Leichtigkeit der ganzen Manipulation, da der Anker weit leichter als Streichmagnete, zumal, wenn sie etwas schwer sind, über die zu magnetisirenden Stahlflächen zu führen ist, vorzüglich aber durch die ausgezeichnete Wirkung, welche durch sie erlangt wird. — So viel ich weifs, ist dieſs ein bis jetzt noch nicht in Anwendung gekommenes Verfahren. Es wurde mir nämlich vor kurzer Zeit vom Mechanicus Jacobi in Dresden mitgetheilt, dafs es ihm gelungen sei, Stahlstäben, die durch keine der bekannten Streichmethoden einen merklichen Magnetismus hätten annehmen wollen, dadurch stark zu magnetisiren, dafs er jeden Stab mit einem seiner Pole an den entgegengesetzten eines Hufeisens angestemmt und nun mit dem Anker vom Magnete aus über die Stabflächen gestrichen hätte. Bei diesem Verfahren waren aber die nicht angestemmten Pole ungeschlossen geblieben, und es ergab sich bei den von mir vorläufig angestellten Versuchen, dafs bei Schliefsung derselben die Stäbe eine weit gröfsere magnetische Intensität erhielten. Als ein Beleg der Wirksamkeit dieser Streichmethode mag noch folgender Versuch angeführt werden: Es wurde nämlich eine 1 sächs. Pfd. wiegende Hufeisenlamelle mit 6 Strichen nach der Hoffer'schen Methode magnetisirt. Sie erhielt eine Tragkraft

von 21 Pfd. 18 Lth. oder dem 21,56fachen ihres eigenen Gewichts. Nachdem sie entmagnetisirt war, wurde sie durch 6 Ankerstriche magnetisirt. Sie trug 26 Pfd. 18 Lth., hatte also das 26,5fache ihres Eigengewichts als Tragvermögen erlangt. Jetzt wurde ihr wieder die Kraft genommen und sie nochmals mit 6 Strichen nach Hoffer's Verfahren magnetisirt, wo sie dann auch nur dieselbe Stärke wieder annahm.

Um dem Stahle aber die gröfste Intensität des Magnetismus ertheilen zu können, welche er anzunehmen fähig ist, soll man denselben, wie Fischer angiebt (s. dessen vorher angegebenes Schriftchen), über glühenden Kohlen oder auf einem geheizten Ofen erwärmen, jedoch nicht so sehr, dafs er dadurch an Härtung verliert. In diesem Zustande hat man ihn dann so lange zu streichen, bis er wieder die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hat. Da durch Erwärmung die Coercitivkraft ab- und die Empfänglichkeit für den Magnetismus zunimmt (§. 457), so hat diese Angabe auch theoretische Begründung, nur wird dadurch die Zeit der ganzen Manipulation sehr verlängert.

§. 460.

Ob man nach einer dieser verschiedenen Streichmethoden in einem dadurch magnetisirten Stahle die gröfste Intensität zu erzeugen oder den Sättigungsgrad zu erreichen vermag, hängt von der Kraft des Streichmagnets und von der Gröfse oder Masse des dadurch darzustellenden neuen Magnets ab. Mit einem schwachen Streichmagnete kann man an sich auch nur wieder schwache magnetische Kräfte erwecken; wenn man aber mehre schwache Magnete mit ihren gleichnamigen Polen auf einander legt, so wird dadurch ihre Kraft verstärkt, und nun kann man mit diesen jedem einzelnen Magnete durch Streichen wieder eine stärkere Kraft ertheilen. Hierauf beruht auch die Zusammensetzung und gröfsere Wirksamkeit der bereits §. 438 erwähnten magnetischen Magazine oder Batterieen, welche aus mehren mit ihren gleichnamigen Polen auf einander liegenden Magnetstäben oder Hufeisen bestehen.

Magnetisirt man z. B. einige gleichgeformte Hufeisen schwach und legt sie dann mit ihren gleichnamigen Polen über einander, so wirken sie nun auf diese Weise vereint wie ein starker

Magnet. Mit diesem kann man jetzt ein anderes Hufeisen schon stärker magnetisiren. Nimmt man dieſs hierauf zu dem ganzen Bündel, trennt dafür ein anderes davon und magnetisirt es wieder mit dem nun abermals stärker gewordenen zusammengesetzten Magnet, so nimmt es selbst wieder eine stärkere Kraft an, und so kann man, indem man dieses Verfahren auf alle einzelnen Lamellen anwendet, zuletzt einen sehr starken zusammengesetzten Magnet erhalten. — Um aus geraden Stäben eine magnetische Batterie zu bilden, legt man sie mit ihren gleichnamigen Polen auf einander und verbindet jedes der zusammengefügten Polenden durch ein Stück weiches Eisen. Ein magnetisches Hufeisen-Magazin aber besteht aus gleich weiten und gleich breiten Lamellen, die gewöhnlich eine abnehmende Länge und Stärke erhalten und wovon die mittelste die längste und stärkste ist. Sie werden ebenfalls mit ihren gleichnamigen Polen und zwar so auf einander gelegt, dafs sich ihre Wölbungen genau bedecken, und dann gewöhnlich noch durch drei Schrauben an beiden Polen und in der Wölbung fest zusammengeschraubt. Die vorstehende mittelste Lamelle dient zur Schliefsung der Pole durch den Anker. Fig. 282 stellt eine solche Hufeisen-Batterie vor. Man kann aber auch aus Magnetstäben eine Batterie in der Art zusammensetzen, dafs sie wie jede Hufeisenbatterie durch einen Anker zu schliefsen ist. Dann wird nämlich die halbe Anzahl der Stäbe von der andern durch ein zwischen sie gebrachtes Holz getrennt, wobei die einander gegenüberliegenden Pole die entgegengesetzten sein müssen. Beide Enden der Stäbe werden nachher durch ein weiches Stück Eisen verbunden, wovon das eine als Anker dient. Fig. 281 stellt ein solches Stabmagazin dar.

Das gröfste bis jetzt bekannte magnetische Magazin wurde im vorigen Jahrhundert vom Dr. Knight ausgeführt. Es bestand dasselbe aus zwei Parallelepipeden, deren jedes 500 Pfd. wog und 240 stark magnetisirte Stahlstäbe von circa 5 Fufs (?) Länge enthielt. Mit diesem Magazine soll man die Pole der kräftigsten natürlichen oder künstlichen Magnete beinahe augenblicklich haben umkehren oder auch ihre Kraft bis zum Maximum verstärken können.

§. 461.

Die Stärke eines gröfseren Magnets bestimmt man gewöhnlich nach seinem Tragvermögen, d. h. nach dem Gewichte, welches seine Pole tragen. Jeder einzelne Pol trägt stets ein kleineres Gewicht, als wenn beide zusammen auf den Anker oder das Trageisen einwirken, weshalb auch

Hufeisenmagnete ein gröfseres Tragvermögen als Magnetstäbe von übrigens gleicher Dimension und Beschaffenheit besitzen. Aufserdem hat man auch gefunden, dafs kleine Magnete eine verhältnifsmäfsig gröfsere Tragkraft als grofse anzunehmen fähig sind.

Da bei der gewöhnlichen Magnetisirung mittels Streichen der Magnetismus durch die inducirende Einwirkung des Streichmagnets erregt wird, dieser aber von der Oberfläche aus die Coercitivkraft der Strahlmasse wahrscheinlich nur bis zu einer gewissen Tiefe völlig zu überwinden vermag, so wird es hieraus auch erklärlich, warum kleine und vorzüglich schwache Stähle eine beträchtlichere Tragkraft annehmen als grofse und starke. — Newton soll einen Magnet in einem Ringe getragen haben, der, bei einem Gewichte von nicht mehr als 3 Gran, angeblich 760 Gran, also das 250fache seines eigenen Gewichts, getragen habe (s. Poggendorf's Annal. XXIV. 639).

Magnetstäbe tragen selten mehr als ihr eigenes Gewicht, Hufeisenmagnete besitzen dagegen, bei übrigens gleicher Beschaffenheit und Bearbeitung des Stahls, stets eine gröfsere Tragkraft als Stäbe; kleine von 1 bis 2 Loth können das 30- bis 40fache, gröfsere von 1 bis 2 Pfd. selten mehr als das 10-bis 15fache ihres eigenen Gewichts tragen; bei Anwendung des Ankerstrichs ertheilte der Verfasser einer einpfündigen Hufeisenlamelle die 26½ Tragkraft ihres eignen Gewichts, und Fischer (s. dessen §. 459 angeführte Schrift S. 6) will bei genauer Befolgung seiner Vorschriften hinsichtlich der Anfertigung und Streichung, vorzüglich unter Vermittelung der Erwärmung des Stahls, das Tragvermögen 1- bis 3pfündiger Lamellen bis auf das 30fache, 4- bis 6pfündiger bis auf das 20fache ihres eigenen Gewichts gebracht haben. Von wesentlichem Einflusse zeigt sich hierbei auch der Anker sowohl hinsichtlich seines Materials als auch hinsichtlich seiner Form. Es mufs dazu immer das reinste und weichste (kohlenstofffreie) Eisen genommen und dafür gesorgt werden, dafs derselbe die Polflächen in allen Puncten möglichst genau berühre, und es scheint, als sei eine abgerundete oder Cylinderform dazu besonders vortheilhaft. — Bisher wurden aber überhaupt grofse magnetische Magazine mehr zur Curiosität und aus Dilettantismus angefertigt, als dafs sie der Wissenschaft eigentlich genutzt hätten, seit Erfindung der magnetoelektrischen Maschinen 1833 ist es aber ein Bedürfnifs geworden, sich solche starke Batterieen verschaffen zu können, und diefs ward auch hauptsächlich die Veranlassung, dafs man sich bemühte, die wirksamsten und zweckmäfsigsten Arten der Magnetisirung zu ermitteln. — So besteht z. B. die magnetische Batterie zu

einer, bei dem physikalischen Apparate der kön. sächs. Militär-Bildungsanstalt befindlichen, vom Mechanicus Eckling in Wien ausgeführten magnetoelektrischen Maschine aus 5 Hufeisenlamellen, die zusammen 68 Zoll-Pfund wiegen und eine Tragkraft von mehr als 300 Pfd. besitzen. — Apparate, mittels welcher sich das Tragvermögen jeder Art von Magneten genau ermitteln läßt, wurden in der neuesten Zeit von Pfaff und Jacobi angegeben (s. Poggendorf's Annal. LII. 303 u. LIV. 335).

Aus zahlreichen Versuchen mit Hufeisenmagneten der verschiedensten Größen, welche sämmtlich bis zu ihrer Sättigung (§. 457) magnetisirt waren, hat der Verfertiger magnetischer Apparate, Herr Häcker zu Nürnberg, ein Gesetz aufgefunden, dessen Richtigkeit auch von Ohm bestätigt wird, nach welchem sich aus dem Gewichte eines Magnets seine Tragkraft, oder, wenn diese angenommen wird, das Gewicht, welches dann jener erhalten muß, berechnen läßt.

Bezeichnet nämlich n das Verhältniß der Tragkraft zu dem Gewichte des Magnets, P die Masse desselben oder sein Gewicht, so ist stets

$$\text{I.)} \quad a = n \sqrt[3]{P}$$

$$\text{oder} \quad \lg. a = \lg. n + \tfrac{1}{3} \lg. P,$$

wobei a eine constante Größe vorstellt, welche das Tragverhältniß eines Magnets von einer bestimmten angenommenen Gewichtseinheit bedeutet. Herr Häcker hat zur Gewichtseinheit 1 baier. Loth gewählt und aus seinen Versuchen mit einer großen Anzahl von Hufeisenmagneten den Mittelwerth für $\lg. a = 1{,}600$ gefunden.

Hiernach verwandelt sich obige Gleichung in folgende:

$$1{,}600 = \lg. n + \tfrac{1}{3} \lg. P \text{ baier. Lothe,}$$

und daraus ergiebt sich also

für das Tragverhältniß $\lg. n = 1{,}600 - \tfrac{1}{3} \lg. P$

und für das Gewicht $\lg. P = 3\,(1.600 - \lg. n)$.

Will man die Berechnung nach Grammen ausführen, so ist dann für die Gewichtseinheit von 1 Gramm der $\lg. a = 2{,}0143$ zu setzen.

Wird durch z das Tragvermögen ausgedrückt, und dann für n in die Gleichung I.) $\frac{z}{P}$ gesetzt, so erhält man:

$$a = \frac{z}{\sqrt[3]{P^2}}$$

und mithin für das Tragvermögen

$$z = a \sqrt[3]{P^2},$$

woraus man ersieht, daß die Trafkraft z zunimmt, wie das Quadrat der dritten Wurzel aus der Masse, während die erste Gleichung zeigt, daß das Tragverhältniß n im umgekehrten Verhältniß zur dritten Wurzel aus der Masse steht.

Bezeichnet man daher mit p, P die Gewichte und mit z, Z die Tragkräfte zweier Magnete, so verhält sich

$$p^2 : P^2 = z^3 : Z^3,$$

oder bei gleichem Werthe von α verhalten sich die Quadrate der Gewichte oder Massen der Hufeisenmagnete wie die Cub. ihrer Tragkräfte (s. Poggendorf's Annal. LVII. 321).

Für genaue Ermittelung der Intensität der magnetischen Kräfte, namentlich bei kleinen Magneten, wie z. B. bei Magnetnadeln, oder bei Aufsuchung von Differenzen dieser Kräfte, giebt aber ihr Tragvermögen keine hinlängliche Genauigkeit. Viel schärfere und unter sich numerisch vergleichbare Resultate erhält man dagegen durch die (§. 454) angeführten Schwingungs-Versuche oder mittels der Coulomb'schen Drehwage (§. 97, S. 118).

Die Intensitäts-Messung aus den Schwingungen einer Magnetnadel beruht auf dem theoretisch begründeten Satze, dafs die Kraft, unter deren Einflusse eine aus ihrer normalen Stellung gebrachte Abweichungsnadel in die Lage ihres Gleichgewichts wieder zurückgeführt wird, dem Quadrate dieser Schwingungen proportional ist, d. h. mit andern Worten, dafs bei verschiedenen Kräften, die diefs bewirken, ihre Gröfse sich wie das Quadrat der Anzahl der Schwingungen, welche von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, oder umgekehrt wie das Quadrat der Schwingungszeiten, nämlich die Anzahl von Zeittheilen, die zur Vollbringung derselben Zahl von Schwingungen erforderlich sind, verhält (§. 454).

Wird zur Ermittelung der Intensität eines Magnetpols eine gewöhnliche Abweichungsnadel angewendet, so ist dabei zu beachten, dafs sie dann ihre Schwingungen unter der Einwirkung zweier Kräfte vollbringt, nämlich unter dem des Erdmagnetismus und zugleich auch unter dem des zu prüfenden Magnetpols. Um nun die Wirkung der letzteren Kraft allein zu erfahren, mufs man die Zahl der Schwingungen, die diese Nadel in einer gewissen Zeit unter dem Einflusse der richtenden Erdkraft allein macht, von der Gesammtzahl der Schwingungen abziehen, welche sie in derselben Zeit unter dem gleichzeitigen Einflusse des Magnetpols vollbrachte.

Bei Anstellung derartiger Versuche wird zunächst die dabei als Mefswerkzeug dienende Abweichungsnadel durch Einwirkung eines schwachen Magnetstäbchens um etwa 20° aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, und hierauf nach Entfernung

jenes Stäbchens der Einwirkung des Erdmagnetismus allein überlassen. Die Zeit, welche, nach einer genauen Secundenuhr gemessen, verstreicht, während die Nadel eine bestimmte Anzahl Schwingungen vollendet, dient dann nach dem vorher angegebenen Gesetze zur Maſsbestimmung der Kraft, mit der die erdmagnetische Kraft auf sie wirkt.

Nunmehr versetzt man die Nadel unter den Einfluſs des zu prüfenden Magnetpols, indem man diesen dem ungleichnamigen der Magnetnadel in ihrem Meridiane und in der Höhe ihrer Schwingungsebene bis auf einen bestimmten Abstand nähert. Wird jetzt die Nadel wieder auf die schon beschriebene Weise abgelenkt, so oscillirt sie alsdann unter dem Einflusse beider Magnetkräfte, nämlich unter dem der Erde und dem des Magnetpols. Zählt man dabei wie vorhin die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel braucht, um dieselbe Zahl der Schwingungen zu vollenden, so wird sich ergeben, daſs diese jetzt kleiner ist. Man erhält daraus abermals die Maſsbestimmung für die Summe der beiden Kräfte, und zieht man von dieser die durch den vorhergegangenen Versuch gefundene Kraft der Erde ab, so ist diese Differenz dann das Maſs der Kraft, womit der Magnetpol auf die Nadel wirkt.

Um dieſs durch ein Beispiel deutlicher zu machen, wollen wir annehmen, die Magnetnadel brauche zur Vollendung von 20 Oscillationen unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein 100 Halbsecunden, und wir erhalten dadurch als Maſs der magnetischen Erdkraft die Zahl $\frac{1}{100^2} = \frac{1}{10000} = 0{,}0001$.

Gesetzt nun, dieselbe Nadel brauche unter dem vereinten Einflusse der Erdkraft und eines Magnetpols bloſs 50 Halbsecunden zu 20 Oscillationen, so ist das Maſs für die Summe beider Kräfte $\frac{1}{50^2} = \frac{1}{2500} = 0{,}0004$; mithin erhält man, wenn man das erst gefundene Maſs von diesem abzieht, als Maſs für die Einwirkung des Magnetpols allein $\frac{1}{2500} - \frac{1}{10000}$ oder $0{,}0004 - 0{,}0001$, d. i. 0,0003; also verhält sich in diesem Falle die Kraft, mit welcher der Magnetpol allein noch auf die Nadel wirkt, zu der, womit dieſs durch die erdmagnetische geschieht, wie 3 : 1.

Wenn jetzt der Nadel auf dieselbe Weise der Pol eines andern Magnets bis auf denselben Abstand genähert würde, und es brauchte dieselbe unter diesem Einflusse nur 30 Halbsecunden zu 20 Schwingungen, so ist das Kraftmaſs für Magnetpol allein $\frac{1}{30^2} - \frac{1}{100^2} = \frac{1}{900} - \frac{1}{10000}$, d. i.

mithin verhält sich die Kraft dieses zweiten Magnets zu der des ersten wie 101 zu 30.

Man kann denselben Versuch auch anstatt mit zwei Magneten mit zwei, drei und mehr Puncten desselben Magnets anstellen, indem man, mit Beibehaltung der Entfernung, den verticalstehenden Magnetstab oder Schenkel des Hufeisens nach Erfordern hebt oder senkt, um dessen verschiedene Stellen nach ihrer Intensität zu prüfen. — Zweckmäfsig ist es in allen diesen Fällen, die Kraft der Erde als Einheit anzunehmen und hiermit die andern Magnetkräfte im Verhältnifs auszudrücken. In unserm gewählten Beispiele würde dann der Pol des ersten Magnets von der angenommenen Entfernung aus eine 3mal und der zweite eine 10,1mal stärkere Wirkung als die Erde auf die Nadel ausüben.

Allgemein läfst sich das Mafs der Kraft eines Magnetpols durch folgende Formel ausdrücken:

$$\frac{1}{t^2} - \frac{1}{T^2} = \frac{T^2 - t^2}{t^2\, T^2},$$

und wenn man die Kraft der Erde als Einheit setzt:

$$\frac{T^2 - t^2}{t^2},$$

worin T die Zahl der Zeittheile ausdrückt, welche die Nadel zur Vollbringung einer gewissen Anzahl von Schwingungen unter dem blofsen Einflusse des Erdmagnetismus braucht, t aber die Zahl der Zeittheile andeutet, die sie unter dem vereinten Einflusse beider Kräfte nöthig hat, um dieselben Oscillationen zu vollenden.

Auch für Magnetstäbe und Magnetnadeln hat Herr Häcker zu Nürnberg ein Gesetz aufgefunden, nach welchem sich ihre Schwingungszeit und daraus ihre magnetische Kraft berechnen läfst. Er fand nämlich, dafs, wenn l und L die Längen, p und P die Gewichte, t und T die Schwingungszeiten zweier Magnetstäbe ausdrücken, folgende Proportion stattfindet:

$$t : T = \gamma l . \sqrt[3]{\frac{p}{l}} : \gamma L \,.\, \sqrt[3]{\frac{P}{L}}$$

(s. Poggendorf's Annal. LVII. 342),
und da sich die magnetischen Kräfte m, M indirect wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten, so mufs auch noch

$$m : M = \frac{1}{t^2} : \frac{1}{T^2} = \frac{1}{\left(\gamma l \,.\, \sqrt[3]{\frac{p}{l}}\right)^2} : \frac{1}{\left(\gamma L \,.\, \sqrt[3]{\frac{P}{L}}\right)^2}$$

$$\text{oder } m : M = \sqrt[3]{\gamma L P^2} : \sqrt[3]{\gamma l p^2},$$

d. h. die Intensitäten von Stabmagneten sind der dritten Wurzel aus dem Producte des Quadrates ihres Gewichtes in die Länge proportional.

Durch solche Schwingungsversuche hat Coulomb auch das §. 445 angeführte Gesetz ermittelt, nach welchem die magnetischen Attractionskräfte mit den Entfernungen abnehmen. So fand derselbe bei einer solchen Prüfung, dafs eine Magnetnadel, die unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein in 1 Minute 15 Schwingungen machte, deren in derselben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnets in der Ebene des magnetischen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüber hielt, und endlich 41, als die Entfernung nur 4 Zoll betrug. Hier verhielten sich die Entfernungen wie 2 zu 1, und die anziehenden Kräfte des Magnets wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$, d. h. nahe wie 1 zu 4.

Will man sich der Drehwage Fig. 34, deren Theorie bereits §. 97 erklärt wurde, als Magnetometer bedienen, um das so eben erklärte Gesetz daran nachzuweisen, so mufs das am Drahte hängende Stäbchen *bd* eine Magnetnadel sein, welche, ohne dafs der Draht eine Drehung erleidet, im magnetischen Meridiane zur Ruhe gekommen ist. Nähert man dieser Nadel in ihrer Schwingungsebene von der Seite her den gleichnamigen Pol eines Magnets, so erfolgt eine Abstofsung derselben. Bei einem solchen Versuche betrug der Abstofswinkel 24°, und als man diesem eine entgegengesetzte Drehung von $3 . 360 = 1080°$ ertheilte, betrug die Ablenkung nur noch 17°. Durch vorangegangene Versuche war aber bereits ermittelt worden, dafs der Magnet der Drehwage bei einer Windung von 35° um 1° aus seiner polaren Stellung des Erdmagnetismus abgelenkt wurde, so dafs folglich zur Ablenkung desselben Magnets um 24° die Torsion $24 . 35 = 840°$, und zu der von 17° $17 . 35 = 595°$ betragen mufste. Es verhielt sich also die ablenkende Kraft bei'm Abstofswinkel von 24° zu der bei'm Abstofswinkel von 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie 1 zu 2, während sich die Quadrate der Ablenkungen oder Abstände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$ oder ebenfalls fast wie 2 zu 1 verhielten (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 766).

Eben so können auch mittels dieses Apparates die Intensitäten verschiedener Magnete gemessen werden. Zu diesem Behufe läfst man den Magnet der Drehwage durch den zu prüfenden Magnetpol von einer gewissen Entfernung aus seiner normalen Lage ablenken. Durch Drehung des Drahtes in der entgegengesetzten Richtung führt man die Nadel bis auf einen willkührlichen Ablenkungswinkel zurück. Mit einem andern Magnetpole oder einer andern Stelle desselben Magnets wird auf gleiche Weise verfahren, wobei hauptsächlich darauf zu achten ist, dafs die Einwirkung von eben dem Puncte aus erfolgt und die Magnetnadel durch Drehung genau auf denselben Grad der Ablenkung zurückgebracht wird. Dann verhalten

sich die Intensitäten der beiden Magnetkräfte wie die Drehungswinkel des Drahtes. Hätte man z. B. den Draht unter der Einwirkung eines Magnetpols m um 90° zurückdrehen müssen, um die Nadel auf eine Ablenkung von 10° zurückzuführen, und unter der Einwirkung eines andern Magnetpols M wären 290° Drehung des Drahtes erforderlich gewesen, so verhalten sich die Intensitäten der beiden Magnetpole m und M wie $90 + 10 = 100$ zu $290 + 10 = 300$ oder wie 1 zu 3.

§. 462.

Durch Vertheilung oder Induction wird Magnetismus nach dem schon §. 443 erläuterten Gesetze erregt, sobald ein für Aufnahme von Magnetismus fähiger Körper in die Nähe oder den Wirkungskreis eines natürlichen oder künstlichen Magnets kommt. Das genäherte Ende des Körpers nimmt dann stets die entgegengesetzte Polarität des Pols an, in dessen Wirkungskreise er sich befindet.

Dieses Erregmittel des Magnetismus ist bei Weitem weniger ergiebig als das Berühren und Streichen. Gegen weiches Eisen zeigt es sich aus den oben §. 457 angegebenen Gründen wirksamer als gegen Stahl, ist aber in jenem nur vorübergehend. — Als Beweis hierzu können die Versuche des §. 444 dienen.

In dieser Art zeigt sich vorzüglich der Erdmagnetismus wirksam gegen alle für Annahme der magnetischen Kräfte empfängliche Körper, indem z. B. Eisenstangen und Stahlstäbe, wenn man ihnen eine verticale Stellung oder noch besser die der richtenden Kraft des Erdmagnetismus (§. 452) giebt, in der nördlichen Erdhälfte an dem der Erdoberfläche zugekehrten Ende einen Nordpol, an dem oberen einen Südpol erhalten. Beim Eisen tritt diese Magnetisirung sogleich, beim Stahl aber erst nach längerer Einwirkung ein, wogegen aber auch dann in letzterem der Magnetismus bleibend ist. Gerade die entgegengesetzten Erscheinungen hinsichtlich der Polarität erhält man in der südlichen Erd-

– Hierher gehört auch zugleich als Beweis der in §. 451 angeführte Versuch.

§. 463.

Durch mancherlei **mechanische Einwirkungen**, welche wahrscheinlich eine Störung in der Gleichgewichtslage der Massentheilchen zur Folge haben, wird namentlich das weiche Eisen magnetisch. So nimmt ein Eisenstab durch Schlagen, Feilen, Drehen, Winden, schnelles Abkühlen u. dergl. einigen Magnetismus an; und es ist eine bekannte Sache, dafs eiserne und stählerne Geräthschaften, wie Bohrer, Meisel, Feilen etc., nachdem sie eine Zeit lang gebraucht worden sind, oft so magnetisch werden, dafs sie Eisenfeile in Menge anziehen. Vorzüglich deutlich und schnell ist aber die Magnetisirung eines Eisenstabes dann ein, wenn solche mechanische Einwirkungen auf ihn erfolgen, während er sich in der Lage der Inclinationsnadel befindet, wie aus folgenden Versuchen zu entnehmen ist.

Erster Versuch. Man gebe einem gegen 2 Fufs langen Eisenstab die Lage der Inclinationsnadel und ertheile seinem oberen Ende einen oder einige Schläge mit einem Hammer. — Der Stab wird sofort an seinem untern Ende einen ziemlich starken Nordpol, an seinem obern einen eben solchen Südpol angenommen haben. — Einen noch weit stärkeren Magnetismus nimmt er aber dann an, wenn man das untere Stabende während des Schlagens gegen eine eben so gestellte Eisenmasse stemmt.

Zweiter Versuch. Wird eine im rothglühenden Zustande befindliche Eisenstange, wo nach §. 457 ihre Coercitivkraft am geringsten ist, in die Richtung der Inclinations-Nadel gebracht und in dieser Lage in kaltem Wasser abgelöscht, so wird man sie auf dieselbe Weise polarisirt und stark magnetisch finden.

Aus diesen Erscheinungen geht also deutlich hervor, [illegible] wohl die Hauptwirkung durch Induction von unserer Erde aus erfolgt, [illegible] Körper durch diese mechanischen Behandlungen [illegible], die Trennung [illegible] lassen

§. 464.

Auch eine Magnetisirung durch Sonnenlicht glauben einige Naturforscher nach von ihnen in neuerer Zeit angestellten Versuchen aufgefunden zu haben. Die Resultate, zu welchen sie bei diesen Versuchen gelangten, bestehen wesentlich in Folgendem. Schwache Drähte von Eisen oder weichem Stahl, wenn diese, an einem Ende polirt, mit diesem eine Zeit lang vom weifsen Sonnenlichte, noch wirksamer und schneller, wenn sie vom violetten Lichte des Sonnenspectrums beschienen werden, nehmen bleibenden Magnetismus an, und zwar wird das vom Lichte beschienene Ende ein Nordpol. Der hierbei hervortretende Magnetismus ist an sich sehr schwach und entsteht nur bei günstigen Witterungsverhältnissen während der längsten Tage im Sommer. — Andere Naturforscher haben bei Wiederholung dieser Versuche nur zweifelhafte Resultate erhalten und glauben daher, es sei noch nicht mit Bestimmtheit anzunehmen, dafs das Sonnenlicht eine derartige Wirkung hervorbringe.

Morichini berichtet zuerst, dafs es ihm (1812) gelungen sei, Stahlnadeln magnetisch zu machen, indem er sie eine Zeit lang in das violette Licht des prismatischen Farbenbildes lege oder dieses Licht durch eine Convexlinse concentrirt auf sie fallen gelassen habe. Sein College Barlocci will dieses Magnetisiren schneller und kräftiger hervorgebracht haben, indem er das concentrirte Bild des violetten Lichtes gerade so wie beim Streichen eines Magnets von der Mitte der Nadel nach dem Nord- und Südende hinbewegte. Lady Sommerville bestätigte 1825 mit einigen Abänderungen die Versuche Morichini's, indem sie die zu magnetisirende Stahlnadel zur Hälfte mit Papier bedeckte und das freie Ende durch violettes Licht beleuchtete. Nach einiger Zeit fand sie die Nadel magnetisch, und zwar hatte das unbedeckte, vom Lichte getroffene Ende Nordpolarität angenommen. Professor Baumgartner fand 1826, dafs Stahlnadeln von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Linie Stärke, wenn sie nur an einem Ende polirt, auf ihrer übrigen Länge aber unpolirt oder dunkel gefärbt waren, auch im directen Sonnenlichte magnetisch wurden, wobei das polirte Ende stets als Nordpol erschien.

Endlich will auch Zantedeschi eine Bestätigung der vorerwähnten Versuche 1829 gefunden haben, wobei er jedoch für das Gelingen derselben bemerkt, dafs die zu magnetisirenden Nadeln nicht zu stark, etwa ¼ Linie dick, noch weniger aber gehärtet sein dürfen, und dafs die günstigste Temperatur dazu die von 20° bis 26° R. sei.

Kurze Zeit nach der Bekanntwerdung von Morichini's Entdeckung wurden dessen Angaben von Configliachi zu Pavia bestritten, und auch Riefs und Moser glauben nach dem von ihnen im Jahr 1829 zu Berlin angestellten Versuchen diese Einwirkung des Sonnenlichts leugnen zu müssen, weil sie bei den der Prüfung unterworfenen Nadeln, nachdem sie dieselben zur Hälfte 200mal mit dem Brennpuncte violetten Lichts gestrichen und ihre Schwingungsdauer untersucht hatten, durchaus keinen Unterschied gegen die auffinden konnten, welche dieselben vor dieser problematischen Magnetisirung gezeigt hatten.

Ausführlichere Nachrichten über diesen Gegenstand findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 873—903, Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. I. 263, und Poggendorf's Annal. XVI. 187 u. 563.

§. 465.

Endlich hat man auch seit den letzten zwei Decennien dieses Jahrhunderts eines der kräftigsten Erregmittel für Magnetismus in der Elektricität, so wie mittelbar auch in der Wärme entdeckt. Da diese Erregungsweise aber ohne Kenntnifs der elektrischen Wirkungen überhaupt, so wie der durch die Wärme hervorgerufenen nicht gehörig verstanden werden kann, so geschieht ihrer hier nur Erwähnung, das Weitere darüber findet man aber in dem Abschnitte, welcher über Elektromagnetismus handelt, angeführt.

§. 466.

Die Erhaltung und Verstärkung der in Magneten vorhandenen Kraft beruht im Allgemeinen darauf, dafs der an den Polen angesammelte entgegengesetzte Magnetismus gebunden oder festgehalten wird. Bei [illegible] zu diesem Zweck, [illegible]

Polen zusammenlegt, noch besser aber, wenn zwischen jedes Paar dieser Pole ein Stück weiches Eisen gelegt wird, wie dieſs die Fig. 283 zeigt. Jedes solches Eisenstück erhält an der Stelle, wo es einen Magnetpol berührt, durch Induction die entgegengesetzte Polarität, mithin kommen dadurch vier Paar entgegengesetzte Pole in Berührung, welche sich gegenseitig verstärken. Auf gleiche Weise verhält es sich auch mit dem Anker, durch welchen die Pole eines Hufeisenmagnets geschlossen werden.

Die einem Magnete bereits inwohnende Kraft kann aber auch noch dadurch verstärkt werden, daſs man die Last, die er zu tragen vermag, allmählig vermehrt.

Endlich ist es auch noch vortheilhaft, einem Magnete die Lage zu geben, die er annehmen würde, wenn er frei beweglich wäre, also wenn seine Schenkel die entsprechende Lage im magnetischen Meridiane erhalten, indem dann die Einwirkung des Erdmagnetismus durch Vertheilung dazu beiträgt, seine Kraft zu erhalten und selbst zu verstärken.

§. 467.

Die Kraft eines Magnets wird dagegen geschwächt oder ganz aufgehoben durch solche Einwirkungen, welche seine Coercitivkraft vermindern, oder die regulinische Oberfläche des Stahls ändern, vorzüglich aber durch Einwirkung der gleichnamigen Polarität zweier Magnete auf einander.

Die Coercitivkraft vermindert sich aber nach §. 457 hauptsächlich bei Zunahme der Wärme, und in Folge dessen verlieren Magnete ihre Kraft völlig, wenn man sie glühend macht. — Durch Rosten wird die regulinische Oberflächenbeschaffenheit des Stahls verändert, und in dem Grade, wie der Rost zunimmt, wird auch der Magnetismus im Stahl geschwächt. — Am schnellsten aber vernichtet oder neutralisirt man die magnetische Kraft, wenn man

einen Magnet in der entgegengesetzten Richtung streicht, wie er magnetisirt wurde. Hiervon kann man sich leicht durch folgenden Versuch überzeugen:

Versuch. Man lege den Magnet *N* Fig. 276b, dem man die Kraft nehmen will, so an den Streichmagnet *M*, dafs die ungleichnamigen Pole zusammenkommen, und ziehe ihn an diesem in der Richtung, welche die Pfeile anzeigen, herunter. — Nach einem einzigen solchen Strich wird die Kraft des Magnets *N* gewöhnlich ganz verschwunden oder doch sehr geschwächt sein. Gleiche Resultate erhält man auch bei Anwendung der andern Streichmethoden, sobald man den Magnet gerade entgegengesetzt streicht, wie er magnetisirt wurde.

Durch mehrmaliges Streichen auf diese Weise lassen sich die Pole der Magnete umkehren, d. h. in die entgegengesetzten verwandeln.

Aufserdem nimmt auch in Magneten ihre Kraft ab, wenn sie lange liegen, ohne dafs ihre Pole durch Eisen geschlossen sind, ferner auch durch Schlagen, Stofsen, vorzüglich aber durch schnelles und wiederholtes Abreifsen des Ankers.

Jeder Magnet, der mit vorgelegtem Anker gestrichen worden ist, besitzt die gröfste magnetische Intensität, so lange er durch diesen geschlossen bleibt. Er befindet sich dann gewissermafsen in dem Zustande der Uebersättigung (§. 477). Nach der ersten Trennung des Ankers von seinen Polen vermindert sich dessen Tragvermögen am bedeutendsten, geringer ist der Kraftverlust bei der zweiten Trennung und wird immer unbedeutender bei jeder folgenden, bis er endlich nach mehrmals wiederholter Trennung eine bemerkbare Abnahme an Kraft nicht mehr zeigt. Er hat dann seinen natürlichen Sättigungszustand erreicht. Eine bedeutendere Schwächung tritt aber allemal dann ein, wenn der Anker plötzlich mit Gewalt abgerissen wird. Will man daher die Kraft eines Magnets nicht unnöthiger Weise schwächen, so mufs man es stets wie möglich den Anker von seinen Polen trennen, und, wenn dieses zu Ausmittelung von Versuchen nothwendig wird, ihn immer nach einer Seite hin von den Polen wegziehen.

§. 485.

In dem Vorangehenden wurden die verschiedenen Art und Ursachen angeführt, durch welche in den mag

sirbaren Stoffen, Eisen und Stahl, der magnetische Gleichgewichtszustand gestört und der polare hervorgerufen werden kann. Mehre ausgezeichnete Physiker haben aber in neuerer Zeit aus Schwingungsversuchen (wie sie (§. 461 beschrieben wurden) mit solchen Körpern, die zu den nicht magnetisirbaren gehören, wie z. B. allen übrigen regulinischen Metallen, Holz, Glas, Schellack etc., unter dem Einflusse starker Magnetpole gefunden, dafs auch diese einen vorübergehenden Magnetismus annehmen, und an den verschiedenartigsten Körpern, die mit der Erdoberfläche in fester Verbindung stehen, will man ebenfalls, wahrscheinlich in Folge der Einwirkung der erdmagnetischen Kraft, schwache Spuren von freiem Magnetismus entdeckt haben.

Aus allen diesen Versuchen und Beobachtungen glaubt man den Schlufs ziehen zu können, dafs wahrscheinlich alle auf der Erde befindlichen Körper, mindestens die festen, wenn auch oft in einem sehr geringen Grade, die Fähigkeit besitzen, vorübergehend Magnetismus anzunehmen, und dafs überhaupt jeder Theil des Erdbodens und jeder auf ihm befindliche Körper an der allgemeinen Vertheilung des Erdmagnetismus (§. 456) Theil nimmt.

Noch mehr Aufschlufs hierüber geben ähnliche Erscheinungen des Elektromagnetismus und Magnetoelektrismus, wovon der vierte und fünfte Abschnitt handelt.

Coulomb machte (1802) zuerst bekannt, dafs nach seinen Beobachtungen Magnete auf alle in Ruhe und Schwingungsbewegungen befindlichen Körper Wirkungen ausübten, weshalb auch in diesen das Vorhandensein von freiem Magnetismus vorauszusetzen sei. Stäbchen verschiedenartiger Stoffe, welche er an einem Coconfaden frei beweglich mit ihren Enden zwischen die ungleichnamigen Pole zweier starker Magnete brachte, sollen sich in die Richtung dieser Pole eingestellt haben, und wenn man sie aus der erlangten Ruhelage ablenkte, sollen sie unter Schwingungen, die sie mit verschiedener Geschwindigkeit vollendeten, in diese zurückgekehrt sein. Später haben Biot, Seebeck und Bequerel die Coulomb'schen Versuche erweitert, vorzüglich um den Eisengehalt in andern Körpern zu ermitteln (s. Poggendorf's Annal. X. 203, XII. 622).

Hansteen aber glaubt, dafs alle auf der Erdoberfläche befindliche Körper einen gewissen Grad magnetischer Polarität besitzen, da er nämlich gefunden haben will, dafs eine Magnetnadel nahe an der Erde auf der nördlichen Seite eines Baumes, Pfahls, einer steinernen Säule u. dergl. in einer bestimmten Zeit eine gröfsere Anzahl von Schwingungen machte als auf der südlichen Seite, dafs dieselbe Nadel aber, gerade umgekehrt, auf der Südseite am oberen Ende solcher Gegenstände geschwinder schwingt als auf der nördlichen, wonach mithin durch die erdmagnetische Kraft alle Körper schwache Polarität, und zwar unten an der Erdoberfläche nördliche, am oberen Ende aber südliche annehmen müfsten.

(S. Marbach's phys. Lex. III. 559, Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 647.)

Vierter Abschnitt.

Der Elektrismus.

I. Von den Erscheinungen und Wirkungen des Elektrismus im Allgemeinen.

§. 469.

Der Elektrismus oder die Elektricität ist diejenige ätherische Potenz, durch welche alle unsere Sinne afficirt werden und die auf alle Körper die verschiedenartigsten Wirkungen ausübt. Er ist eine über die ganze Erde verbreitete, allen irdischen Körpern inwohnende Kraft, von der es aber bis jetzt noch nicht hat nachgewiesen werden können, ob sie dem ganzen Universum angehört, also kosmisch ist.

Für gewöhnlich ist ihre Thätigkeit in Körpern nicht wahrnehmbar, sie ist nämlich gewissermafsen gebunden oder in Ruhe, und diesen Zustand nennt man den der elektrischen Indifferenz oder Neutralität, ohne dafs es deshalb als entschieden anzunehmen ist, ob die Elektricität in diesem Zustande wirklich ganz wirkungslos sei.

§. 470.

Der Elektrismus zeigt sich für uns erst dann wirksam, wenn dieser Ruhezustand aufgehoben, d. h. wenn seine Kraft frei oder entbunden wird. Wahrscheinlich

giebt es keine Veränderung in der Körperwelt, die nicht innerhalb gewisser Grenzen eine Störung jenes Zustandes der Ruhe und eine Anregung der elektrischen Thätigkeit zur Folge hat. Die hauptsächlichsten, bis jetzt bekannten Ursachen, durch welche dieſs vorzugsweise geschieht, sind Reibung und Berührung heterogener Körper, Aenderung der Temperatur, der organische oder Lebensproceſs, die atmosphärischen Functionen, Druck und Trennungen von Körpern und der Magnetismus. Getheilt sind die Meinungen noch darüber, ob Chemismus und Aenderung des Aggregatzustandes fähig sind, Elektricität zu erregen. Gewöhnlich bedient man sich als Erregmittel der elektrischen Kraft nur der Reibung, der Berührung, der Wärme und des Magnetismus, und benennt hiernach auch die dadurch in Thätigkeit kommende Elektricität: Reibungs-, Berührungs- oder Contact-, Wärme- oder Thermo- und Magneto-Elektricität.

Die auf diesen verschiedenen Wegen frei werdende Elektricität ist, wie Faraday durch vielfache Versuche nachgewiesen hat, ihrem Wesen nach vollkommen identisch, nur werden dabei ihre Wirkungen hauptsächlich dadurch modifirt, daſs bei dem einen Erregmittel wenig Elektricität, aber in groſser Dichtheit, bei einem andern dagegen viel Elektricität von geringer Dichte in Thätigkeit versetzt wird.

§. 471.

Körper, die sich im Zustande elektrischer Thätigkeit befinden, heiſsen elektrisch. Die verschiedenen Wirkungen, die sie dann erzeugen, lassen sich unter folgende Hauptrubriken bringen:

1.) Mechanische Wirkungen, welche sich durch

Bewegungen, aber auch durch Trennungen anderer Körp zu erkennen geben.

2.) **Lichterscheinungen** verschiedener Art, d zugleich mit einem minderen oder stärkeren Geräusch ve bunden sind.

3.) **Wärmephänomene**, als Erglühen, Schmelz und Verbrennen von Körpern.

4.) **Chemische Wirkungen**, in Zerlegungen und ch mischen Verbindungen von Körpern bestehend.

5.) **Physiologische Wirkungen**, welche si durch einen eigenthümlichen phosphorischen Geruch, dur ein Gefühl, als wenn sich Spinnengewebe über das Gesi zögen, durch eigenthümliche Einwirkungen auf unsere G sichts- und Geschmacksnerven, und endlich auch dur schwache oder heftige, selbst tödtende Erschütterungen d ganzen Nervensystems äufsern.

6.) **Magnetische Wirkungen**, indem nämlich s wohl magnetische Körper afficirt, als auch unmagnetisch in magnetischen Zustand versetzt werden.

Die verschiedenartigen Aeufserungen der elektrischen Kra zeigen sich aber nicht alle gleichzeitig und auch in sehr ve schiedenem Grade der Stärke. Bei vielen elektrischen Thäti keiten sind sie so schwach, dafs es erst besonderer Instrumen bedarf, um sie zu sammeln und wahrnehmbar zu machen. Die war auch der Grund, warum man früher nur gewissen Kö pern elektrische Eigenschaften zuschrieb und erst in der neuer Zeit mehre der erwähnten Wirkungen kennen lernte.

§. 472.

Der elektrische Zustand, in welchen ein Körper durc was immer für eine Ursache versetzt worden ist, zeigt sic nach der **Menge** oder **Quantität** und der **Dichte** od **Intensität** der an ihm in Thätigkeit versetzten Elektri cität verschieden. Die Menge der frei werdenden Elektri *cität ist* nicht gleich und veränderlich, sie ist mefsbar un

kann nach irgend einer als Einheit angenommenen elektrischen Wirkung ausgedrückt werden. Die Dichte derselben aber ist abhängig von der Menge und Gröfse der Oberfläche, oder sie ist das Verhältnifs der Elektricitätsmenge zu der Oberfläche, auf der sie verbreitet ist, und steht daher bei gleicher Quantität im umgekehrten Verhältnifs zur Oberfläche, d. h. bei einer $n$mal gröfseren Fläche ist die Dichte derselben Elektricitätsmenge $\frac{1}{n}$mal so grofs als auf der einfachen Oberfläche.

§. 473.

Der elektrische Zustand eines Körpers ist **vorübergehend**, d. h. ein elektrischer Körper wird nach längerer oder kürzerer Zeit wieder unelektrisch, er kehrt nämlich in den Neutralitätszustand zurück, und dann sagt man von ihm, er sei **entladen**. Diese Entladungszeit ist abhängig von dem verschiedenen Verhalten der Körper, welche mit der Oberfläche des elektrischen in Berührung stehen, zu dessen freier Elektricität. Alle Stoffe besitzen nämlich die Eigenschaft, die in irgend einem Körper frei gewordene Elektricität diesem, so lange sie sich mit ihm im Contact befinden, zu entziehen und dadurch selbst freie Elektricität zu erhalten, was dann eine **Elektrisirung durch Mittheilung** genannt wird. Nach Verschiedenheit der Zeitdauer, in der dieſs erfolgt, theilt man die Körper in **Leiter**, **Nichtleiter** und **Halbleiter**. Der Elektricitätsverlust, den ein elektrischer Körper erleidet, ist hiernach meſsbar, und es wird sich später zeigen, durch welche Mittel dieſs geschehen kann.

Leiter sind nämlich solche Körper, bei den Entladungszeit unmerklich ist, die, wenn ihnen an an einem Puncte Elektricität mitgetheilt, oder w irgend einer Stelle ihr Neutralilitätszustand aufg

wird, augenblicklich an ihrer gangen Oberfläche elektrisch erscheinen, und sobald sie im elektrischen Zustande von einem mit der Erde in Verbindung stehenden Leiter berührt werden, auch eben so schnell wieder ihre freie Elektricität verlieren. Sie besitzen daher die charakteristische Eigenschaft, dafs sich in ihnen die Elektricität äufsers schnell und frei fortbewegen kann.

Unter Nichtleitern aber versteht man solche Körper, welche die entgegengesetzten Eigenschaften der vorgen besitzen, d. h. die nur nach längerer Zeit eine Ableitung freier Elektricität bewirken, welche, wenn sie von einem elektrischen Körper berührt werden, oder wenn in ihnen an einer Stelle der neutrale Elektricitätszustand aufgehoben wird, auch nur an dieser Stelle elektrisch erscheinen, und die, wenn sie auf ihrer ganzen Oberfläche elektrisch sind, und dann von einem mit der Erde verbundenen Leiter berührt werden, ihre freie Elektricität auch nur an der Berührungsstelle verlieren. Sie besitzen daher die charakteristische Eigenschaft, dafs sie freie Elektricität lange Zeit zurückhalten und der freien Bewegung derselben hinderlich sind.

In Folge dieser Eigenschaften können Leiter nur dann elektrisch werden, wenn die in ihnen vorhandene freie Elektricität dem Erdkörper nicht zuströmen kann. Diefs ist der Fall, wenn sie von diesem durch Nichtleiter getrennt sind. Einen solchen Leiter nennt man dann isolirt, und die dazu dienenden Nichtleiter Isolatoren.

Man glaubte deshalb früher, dafs nur die Nichtleiter elektrisch werden könnten oder Elektricität besäfsen, und nannte sie defshalb elektrische oder idioelektrische, die Leiter aber nicht elektrische oder anelektrische Körper.

Halbleiter sind alle die Körper, bei welchen eine deutlich wahrnehmbare und mefsbare Entladungszeit stattfindet, die also in der Mitte zwischen Leitern und Nicht-

leitern stehen. Eine scharfe Grenze läfst sich aber zwischen jenen drei Arten der Körper nicht annehmen, eben so wenig wie es einen vollkommenen Leiter und vollkommenen Nichtleiter giebt, sondern die Leiter, stufenmäfsig geordnet, gehen allmählig in die Nichtleiter über.

Erfahrungen und Versuche haben ferner noch gezeigt, dafs die freie Elektricität an diesen Körpern auf verschiedene Weise haftet, und zwar dafs sie sich an Leitern nur an ihrer Oberfläche ansammelt, dafs sie aber bei nicht oder schlecht leitenden Stoffen unter kräftigen Elektricitäts-Wirkungen auch in ihre Masse eindringt und hartnäckig von ihr dann zurückgehalten wird (s. Baumgartner's Naturl. 7te Aufl. S. 386).

§. 474.

Unter den Elektricitätsleitern steht unsere Erde obenan, und zwar ist sie der Universalleiter, nach welchem alle freie Elektricität durch andere Stoffe zurückzukehren sucht. Aufserdem sind die beſsten Elektricitätsleiter die regulinischen Metalle, nächst diesen gut gebrannte Kohle und Graphit, dann folgen die Erze, die meisten Salze und viele Flüssigkeiten im tropfbaren und dunstförmigen Zustande. Unter den Flüssigkeiten zeichnen sich besonders die Säuren durch gute Leitung aus, ihnen zunächst stehen die Lösungen derselben und die der Salze im Wasser, und zuletzt folgt das Wasser selbst. Alle übrigen festen Körper werden aber auch zu Leitern, wenn sie befeuchtet oder naſs werden, weshalb auch alle lebenden thierischen und vegetabilischen Körper Leiter sind. Endlich gehören auch noch zu den Leitern die Flamme, der Rauch und der leere Raum.

Aus dieser Zusammenstellung der beſsten Elektricitätsleiter ersieht man zugleich, dafs sehr viele derselben, namentlich der festen Körper, auch gute Wärmeleiter sind.

§. 475.

Zu den **Nichtleitern** gehören alle Arten von Glas, alle Edelsteine, vorzüglich der Diamant, alle Metalloide, besonders Schwefel, alle Metalloxyde, mithin auch die Alkalien und Erden, wenn sie vollkommen trocken sind; alle brennbaren Mineralien, wie Bernstein, Steinkohlen, Steinöl u. dergl., wovon jedoch Kohlenblende und Graphit auszunehmen sind; ferner gehören noch hierher alle Harze, Kautschuk, Wachs und andere trockene Pflanzenproducte, z. B. Zucker, arabischer Gummi, trockenes Holz, Baumwolle etc., die fetten Oele, Aether, alle thierischen Hautbedeckungen, wie Haare, Pelzwerk, Federn, eben so die Gespinnste aller Raupen, besonders die Seide, roh und verarbeitet, das Eis, um so mehr, je kälter es ist, alle trockenen Gasarten, und zwar um so mehr, je dichter sie sind, und endlich auch der vollkommene gasförmige Wasserdampf.

Unter den angeführten Hauptarten der Nichtleiter ist der vollkommenste Isolator der Schellak, der gebräuchlichste das Glas, und der verbreitetste und wichtigste unsere atmosphärische Luft. Wäre sie ein Leiter, so würden wir elektrische Erscheinungen gar nicht wahrnehmen können, ihre Leitfähigkeit nimmt aber in dem Maſse zu, je dünner sie wird und je mehr sie mit Wasserdünsten angefüllt ist.

Zu den vorzüglichsten **Halbleitern** kann man Papier, Pergament, Holz, Horn, Knochen, Elfenbein, Marmor, Alabaster und mehre andere Gesteine zählen, sobald sich die genannten Stoffe an der freien Luft in dem gewöhnlichen Zustande der Trockenheit befinden (s. **Gehler's** phys. Wrtb. n. A. VI. 133—142).

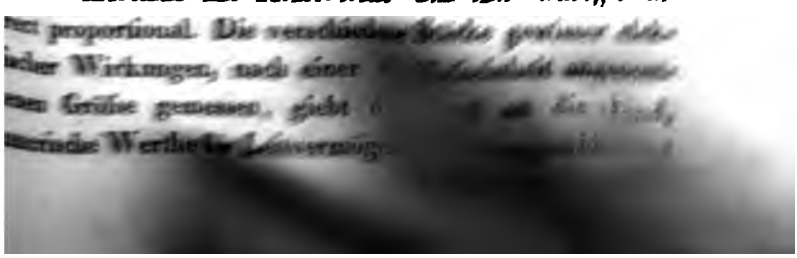
§. 476.

Das **Leitvermögen** der Körper, d. h. ihre Fähigkeit, eine bestimmte Quantität freier Elektricität in einer

wissen Zeit durch ihre Masse hindurch gehen zu lassen, ein wichtiger Factor bei den durch Elektricität hervorbrachten Wirkungen. Es ist dasselbe nicht allein nach m Körperstoffe verschieden, sondern auch von dessen imensionen abhängig, aufserdem aber auch noch durch influfs der Wärme veränderlich. Vorläufig sei bemerkt, fs Silber und Kupfer das stärkste, Blei, Neusilber und uecksilber das schwächste Leitvermögen unter den Mellen besitzen, und dafs unter den tropfbaren Flüssigkeiten s erstere bei der Salpeter- und Schwefelsäure, das letare aber bei'm Wasser und Alkohol stattfindet; ferner, dafs h dasselbe bei allen Stoffen mit Zunahme ihrer Länge rmindert, mit Zunahme ihrer Stärke oder mit Vergröfserg ihres Querschnitts vermehrt; und dafs es endlich bei etallen mit ihrer Temperaturerhöhung ab-, bei andern örpern aber, vorzüglich bei Flüssigkeiten, mit wachsenr Wärme zunimmt, ja dafs selbst mehre starre Nicht ter ein sehr bemerkbares Leitvermögen annehmen, wahnd sie sich im geschmolzenen Zustande befinden.

So fand Davy, dafs rothglühendes Glas, geschmolzenes Siegellack, Pech, Bernstein, Schellack, Schwefel, Wachs vollkommen leitend werden.

Aus der Verschiedenheit des Leitvermögens entspringt ch die Verschiedenheit des sogenannten Leitungswiderandes, oder, wie Riefs es bezeichnet, die elektrische erzögerungskraft. Es vermindern sich nämlich die ektrischen Wirkungen in dem Verhältnifs, wie die Fortwegung der freien Elektricität [illegible] ird, und den darüber gemachten Erfahrungen zufolge [illegible] ner Widerstand und Kraftverlust dem Leitvermögen [illegible] proportional. Die verschiedene Stärke gewisser elektrischer Wirkungen, nach einer [illegible] Gröfse gemessen, giebt [illegible] Werthe der Leitvermögen [illegible]



auffinden zu können, wovon die Resultate später noch angegeben werden sollen.

§. 477.

Als Ursache der verschiedenartigen Wirkungen und zum Behuf der Erklärung der elektrischen Erscheinungen wird von der Mehrzahl der Physiker ein besonderer Elektricitätsstoff oder ein elektrisches Fluidum angenommen. In der näheren Bestimmung der Eigenschaften dieses Fluidums herrschen aber zwei verschiedene Ansichten, indem nämlich ein Theil nur ein, der andere aber zwei elektrische Fluiden annimmt. Man nennt jene Unitarier, diese Dualisten.

Die erste dieser beiden Hypothesen wurde von Aepinus und Franklin, die letztere von Symmer aufgestellt. Nach beiden lassen sich die meisten elektrischen Erscheinungen ziemlich gleich befriedigend erklären, jedoch zählt gegenwärtig die meisten Anhänger die dualistische Hypothese, nach welcher auch später die elektrischen Erscheinungen erklärt werden sollen.

Der Ansicht der Unitarier zufolge sollen die Theilchen ihres hypothetischen Elektricitätsstoffs unter sich abstofsend auf einander wirken, von allen Körpern aber angezogen und dann gebunden werden, so dafs sie dadurch ihre repulsive Wirkung auf einander verlieren. Alle irdischen Körper enthalten diesen Stoff, aber jeder vermag davon nur eine gewisse Menge zu binden, oder es besitzen die Körper eine verschiedene Capacität zu demselben. Enthält ein Körper nur das seiner Capacität entsprechende Quantum, so zeigt er keine elektrische Thätigkeit, er befindet sich im Zustande der elektrischen Indifferenz oder Neutralität; enthält er aber eine gröfsere oder kleinere Menge, als zum Zustande der Indifferenz erfordert wird, so zeigt sich der Körper elektrisch. Man nennt ihn positiv elektrisch, wenn er einen Ueberschufs, negativ elektrisch

aber, wenn er einen Mangel an elektrischem Fluidum hat. Elektrisch mufs hiernach ein Körper werden, entweder wenn ihm Elektricität zugeführt oder wenn ihm ein Theil der seinigen entzogen wird, oder endlich auch, wenn sich das in ihm gleichförmig vertheilte elektrische Fluidum nach einer Seite hin anhäuft, so dafs in einem Theile des Körpers ein Ueberschufs, in dem andern ein Mangel entsteht. Positiv elektrische Körper zeigen dann stets das Bestreben, ihren Ueberschufs der Elektricität an andere Körper abzugeben, negativ elektrische dagegen dasjenige, ihren Mangel aus andern Körpern an sich zu ziehen.

Nach dieser Ansicht wird man finden, dafs sich die elektrische Wirksamkeit sehr übereinstimmend mit der der Wärme zeigt.

Nach der dualistischen Hypothese entspringen aber alle elektrischen Erscheinungen aus zwei in der ganzen Körperwelt verbreiteten elektrischen Fluiden, welche man beide als höchst fein und unwägbar und dabei zugleich in hohem Grade ausdehnsam annimmt. Die Theilchen eines jeden stofsen sich in Folge der letzteren Eigenschaft gegenseitig ab, und in dieser Beziehung zeigt sich jedes Fluidum gleich wirksam. Gegenseitig aber ziehen sich beide Elektrismen an, verbinden sich, wenn kein Hindernifs obwaltet, und verlieren, sobald sie sich in gleicher Menge vereint haben, ihre Ausdehnsamkeit. Die eine dieser Flüssigkeiten hat man positive Elektricität oder + E., die andere negative Elektricität oder — E., beide aber entgegengesetzte Elektricitäten und diesen Gegensatz ihre Polarität genannt. Sind in einem Körper beide Elektricitäten in gleicher Menge vorhanden, so äufsert ein solcher keine elektrischen Wirkungen; er befindet sich nämlich im Zustande der Indifferenz oder Neutralität, und man bezeichnet denselben mit $\pm$ 0 E. Positiv elektrisch wird ein Körper e[illegible] u[illegible]

ihm freie + E. mitgetheilt, oder wenn sein Indifferen zustand aufgehoben und ihm ein Theil seiner — E. e zogen wird; negativ elektrisch erscheint er, wenn d Entgegengesetzte eintritt. Ein Körper kann endlich au an zwei einander entgegengesetzten Seiten elektrisch scheinen; dann ist die eine Seite positiv, die andere neg tiv elektrisch. Dieser Elektricitätszustand tritt ein, sob ein Theil seiner neutralen Elektricität dergestalt zerl wird, dafs die positive Elektricität sich nach der einen, negative nach der entgegengesetzten Seite hin anhäuft. Ve schwindet die Ursache, welche die Trennung beider Fl den herbeiführte, so vereinigen sich dieselben, und d Körper erscheint wieder im Zustande der Indifferenz. A elektrischen Erscheinungen endlich haben nach dieser A sicht ihren Grund in dem Streben, der entgegengesetzt oder polaren Elektricität sich in gleicher Quantität zu ve einen, und in der Eigenschaft jedes elektrischen Fluidu oder jeder der beiden polaren Kräfte, dafs sich ihre The chen gegenseitig abstofsen und ihre Wirkungen einand entgegengesetzt sind.

Mag übrigens die Ursache der elektrischen Erschei ungen in was immer begründet sein, so sind wir doch z folge sehr vieler Thatsachen genöthigt, unsern Erdkörp als eine unerschöpfliche Quelle des Elektrismus anzune men; es ist derselbe gleichsam das grofse Reservoir, v dem die elektrische Kraft in verschiedener Menge ausge oder gewonnen werden kann, nach welchem sie aber au wieder aus den elektrisch gewordenen Körpern zurückströ

§. 478.

Die Zustände, in welchen die frei gewordene elekt sche Kraft ihre verschiedenen Wirkungen ausübt, sin zweifacher Art, nämlich der Gleichgewichts- oder Polarität

ustand, den man die **elektrische Spannung**, und der Bewegungszustand oder der Verbindungsact der entgegengesetzten Polaritäten, welchen man den **elektrischen Strom** genannt hat. Aus ersterem Zustande entspringen die primitiven, aus letzterem die secundären Wirkungen der elektrischen Kraft.

§. 479.

Die elektrische Spannung besteht in dem Bestreben, der freien positiven und negativen Elektricität sich durch Vereinigung mit ihrem Gegensatz wieder in den Zustand der Indifferenz zu versetzen, und zwar ist dieses Bestreben um so gröſser, je dichter die freie Elektricität ist (§. 472). Die Fundamentalwirkung, welche aus diesem Bestreben hervorgeht, besteht in der Anziehung solcher Körper, welche durch Abgabe ihrer Elektricität den Neutralitätszustand herbeiführen können. Elektrische Körper ziehen in Folge dessen alle nicht elektrischen Körper an und suchen sich von ihnen mit der entgegengesetzten Elektricität zu sättigen. Besitzt aber der angezogene Körper die zur Sättigung des elektrischen erforderliche Menge entgegengesetzter Elektricität nicht, so vertheilt sich der verbleibende Ueberschuſs der freien Elektricität, so daſs beide Körper dann eine gleiche Spannung zeigen, wodurch nun der vorher angezogene Körper wieder abgestoſsen wird. Aus gleichen Ursachen zieht auch ein elektrischer Körper jeden andern entgegengesetzt elektrischen an. Enthalten beide gleiche Mengen freier entgegengesetzter Elektricität, so sättigen sich diese bei der Anziehung, und beide Körper haben dann den Zustand der elektrischen Indifferenz angenommen. Ist aber die Menge [illegible] entgegengesetzten Elektricitäten in beiden Körpern [illegible], so bleiben sie auch nach der Berü[illegible] [illegible]halten dann beide die El[illegible]

der Berührung die gröfste Menge freier Elektricität hatte. Alle gleichartig elektrischen Körper dagegen müssen sich stets abstofsen, weil die Theilchen der gleichartigen elektrischen Fluiden unter sich Repulsivkraft ausüben.

Aus diesen Erscheinungen hat man folgendes Attractions- oder Polaritätsgesetz der Elektricität abgeleitet: **Gleichartige Elektricitäten (+E. und +E. oder — E. und — E.) stofsen sich ab; ungleichnamige Elektricitäten aber (+ E. und — E.) ziehen sich an, und gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricitäten neutralisiren sich, d. h. sie führen den Zustand der Indifferenz (0 E.) herbei.** Man ersieht hieraus, dafs auch bei der Elektricität eine ganz übereinstimmende Wirkung wie zwischen den beiden polaren Magnetkräften stattfindet (vergl. §. 442).

Aufserdem giebt sich aber auch noch die Elektricität im Zustande der Spannung durch besondere physiologische Wirkungen zu erkennen, nämlich durch einen eigenthümlichen, dem Phosphor ähnlichen Geruch und ein Gefühl im Gesicht, als wenn dasselbe in Spinnenfäden geriethe.

§. 480.

Jene Hauptwirkung der Spannung, die Attraction, äufsert sich von einem elektrischen Puncte oder einer solchen Kugel in radialer Richtung und nimmt in ihrer Intensität mit der Entfernung vom elektrischen Körper ab. Mittels eines Apparates, dessen Einrichtung und Gebrauch später noch beschrieben werden wird, fand **Coulomb** auch hier das Gesetz radialer Kraftwirkungen bestätigt, dafs nämlich die Stärke dieser polaren Wirkungen nach den Quadraten der Entfernungen abnimmt, d. h. dafs diese in der doppelten Entfernung viermal, in der dreifachen neunmal, überhaupt in der *n*fachen n^2mal schwächer ist als in der einfachen ist.

§. 481.

Der Zustand der Spannung geht in den der Bewegung über, oder es tritt ein elektrischer Strom ein, sobald einem elektrischen Körper Gelegenheit geboten wird, sich mit einer entgegengesetzten Elektricität zu verbinden. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn ein solcher Körper von einem entgegengesetzt elektrischen unmittelbar berührt wird, oder wenn man zwei solche Körper durch einen Leiter verbindet, oder sobald eine leitende Verbindung mit der Erde eintritt. Unter diesen Umständen bewegen sich die entgegengesetzten Fluiden gegen einander, und auf dem ihm durch den Leiter gebotenen Wege erfolgt ihre gegenseitige Neutralisation. Bieten sich in einem solchen Falle den elektrischen Körpern verschiedene Stromwege dar, so wählt die Elektricität hauptsächlich denjenigen, wo sie den kleinsten Widerstand findet, und bei sonst gleicher Beschaffenheit der Leiter immer den kürzesten Weg.

Die Zeitdauer eines solchen Stromes ist verschieden und abhängig von der Verzögerungskraft des Leiters, vorzüglich aber von der Menge der Elektricität, welche ihn durchfliefsen mufs. Ist diese nur gering und die Ursache, welche ihren Spannungszustand herbeiführte, nicht permanent, so ist bei guten Leitern die Dauer des Stroms nicht wahrnehmbar, und man nennt einen solchen einen augenblicklichen oder momentanen Strom; sobald aber die Erregungsursache der Spannung ununterbrochen fortwirkt, so hält der Strom auch so lange an, als freie Elektricität vorhanden ist, und dann entstehen stetige oder dauernde Ströme. Die erstere Art entspringt hauptsächlich bei der Reibungs-, die letztere aber bei der Berührungs-Elektricität, der Thermo-Elektricität, und kann auch durch Magneto-Elektricität hervorgebracht werden.

Die Wirkung der strömenden Elektricität ist sehr v
schieden. Der momentane elektrische Strom von ho
Spannung zeichnet sich hauptsächlich aus durch intens
Lichterscheinungen, durch das Zertrümmern, Entzünd
Erglühen und Schmelzen von Körpern und durch heft
Erschütterungen der Nerven, die chemischen und magn
schen Wirkungen treten aber nur schwach hervor;
dauernde elektrische Strom dagegen charakterisirt sich hau
sächlich durch seine chemische Wirksamkeit, durch int
sive und dauernde Wärmeerregungen, und endlich au
durch seine magnetischen Eigenschaften, obschon er au
nur in minderem Grade, Lichterscheinungen und Nerv
affectionen hervorbringt.

Nach der dualistischen Hypothese finden hierbei, wie s
oben angenommen wurde, zwei Ströme statt, die sich einan
entgegen bewegen, nach der Franklin'schen Theorie a
geräth nur die positive Elektricität oder der zwischen zw
Körpern vorhandene Ueberschufs in Bewegung, und zwar
der Art, dafs er sich nach dem negativen Körper oder n
dem hin begiebt, in welchem ein Mangel der normalen Qu
tität Elektricität stattfindet.

§. 482.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die im Ströme
zustande befindliche Elektricität fortbewegt, übertrifft n
die des Lichts. Im Kupferdrahte fand sie Wheatsto
durch ein später zu beschreibendes Verfahren zu 288000 e
oder 63000 geogr. Meilen, wonach diese Geschwindigk
um die Hälfte gröfser als die des Lichtes ist; ob sich al
die Elektricität in andern Leitern mit derselben oder
einer andern Geschwindigkeit fortbewegt, ist bis jetzt no
nicht untersucht worden.

§. 483.

Elektrische Körper bewirken
thümliche Weise eine Trennu
tät in ihre beiden Gegensätze

unelektrische Körper in ihre Nähe kommen. Die Entfernung, wo diese Wirkung beginnt, nennt man den Wirkungskreis oder die elektrische Atmosphäre des ursprünglich elektrischen Körpers. Es ist diese Elektricitäts-Erregung verschieden, je nachdem sich der Elektrismus des wirkenden Körpers im Zustande der Spannung oder der Strömung befindet. Im ersteren Falle erzeugt er in den, in seine Wirkungssphäre gebrachten Körpern ebenfalls den Zustand der Spannung, im andern Falle aber den der Strömung. Die in den ursprünglich unelektrischen Körpern auf diese Weise hervorgerufene elektrische Thätigkeit verschwindet aber wieder, und die Körper kehren in den Zustand der Indifferenz zurück, sobald sie sich aus der Wirkungssphäre des ursprünglich elektrischen Körpers entfernen. Man nennt diese eigenthümliche Art der Elektricitätserregung Elektrisirung durch Vertheilung oder durch Induction. Die ursprüngliche Elektricität kann man hiernach auch die vertheilende und die dadurch erregte die vertheilte Elektricität nennen. Unter welchen besondern Erscheinungen die vertheilte oder inducirte Elektricität auftritt, wird noch später an den passendsten Stellen angeführt werden.

II. Elektricität durch Reibung.

A. Von den Fundamental-Wirkungen und Erscheinungen der Reibungs-Elektricität.

§. 484.

Wenn zwei ungleichartige Körper gegen einander gerieben werden, so kommen beide in den elektrischen Spannungszustand. Leiter nehmen diesen nur dann, aber auf ihrer ganzen Oberfläche an, wenn sie isolirt sind, Nichtleiter dagegen blofs an den geriebenen Stellen. Ist der reibenden Körper ein Nichtleiter,

der andere ein Leiter, und steht letzterer in leitender V
bindung mit dem Boden, so wird ersterer zur Annah
einer stärkeren Spannung befähigt. Der elektrische Z
stand solcher Körper giebt sich hauptsächlich durch
Fundamental-Wirkung der Spannung, das Anziehen lei
ter unelektrischer Körper und das nachher erfolgte A
stofsen derselben zu erkennen. Aufserdem zeigen sich a
auch noch schwache Lichterscheinungen und die schon
geführten physiologischen Wirkungen (§. 479), obschon
geringem Grade. Folgende Versuche dienen dazu, di
Fundamental-Erscheinungen nachzuweisen.

Erster Versuch. Wenn man eine Glasröhre oder Sieg
lackstange auf Wolle, Tuch oder Seide einige Zeit geriel
hat, so zeigt sich dann folgendes:

1.) Beide geriebenen Nichtleiter ziehen kleine Stückc
Papier, so wie andere leichte Dinge an und stofsen sie nach
wieder ab. Dasselbe erfolgt auch mit einer kleinen Kugel
Sonnenrosenmark, welche an einem seidenen Faden auf
hangen ist.

2.) Bei Annäherung des Knöchels eines Fingers oder ei
polirten Metallkugel an die Oberfläche jener geriebenen Kör
wird man ein Knistern und im Dunkeln einen kleinen Lic
funken wahrnehmen.

3.) Ist die geriebene Glasfläche nicht zu klein, so wird
bei Annäherung derselben an die Augen eine Empfindung hab
als kämen Spinnenfäden in das Gesicht.

4.) Wird die Glasröhre der Nase genähert, so spürt man ei
schwachen phosphorischen Geruch.

Da jene geriebenen Körper, mit welchen man diese Un
suchungen anstellt, Nichtleiter sind, so zeigen sie diese
scheinungen eine Zeit lang, selbst wenn man sie an mehr
Puncten berührt, jedoch nur an den geriebenen Stellen ih
Oberfläche (§. 473).

Zweiter Versuch. Wenn man eine Metallscheibe
der Hand hält und auf ähnliche Weise reibt, so zeigt sich ke
dieser Erscheinungen. — Das Metall als Leiter ist in der Ha
nicht isolirt, und die hierbei frei werdende Elektricität wi
durch den Körper sogleich der Erde zugeführt (§. 473). Di
selbe erfolgt auch bei jedem andern Leiter, weshalb man
Leiter lange Zeit für nicht el[illegible] Körp[illegible]

Hält man aber die Me[illegible] isol[illegible] so also
Glasgriffe, so zeigt sie sich n[illegible]

bei der Berührung an irgend einer Stelle verliert sie aber als ein Leiter augenblicklich ihre ganze freie Elektricität (§. 473).

Dritter Versuch. Um bei dieser Art von Versuchen es nachweisen zu können, dafs beide sich reibende Körper elektrisch werden, mufs dem Reibzeuge, nämlich dem Körper, auf dem man die Glasröhre oder die Siegellackstange reibt, ein ganz leicht beweglicher Körper dargeboten werden, und dessenungeachtet bleiben die Wirkungen bisweilen immer noch zweifelhaft. Mit Bestimmtheit läfst sich dieſs aber zeigen, wenn man zur Prüfung der frei gewordenen Elektricität eins der im folgenden Paragraphen beschriebenen empfindlicheren Elektroskope anwendet, oder wenn man das Reibzeug so einrichtet, dafs die in ihm durch das Reiben frei werdende Elektricität sich in einem Leiter ansammeln kann. — Einen hierzu geeigneten einfachen Apparat stellt die Fig. 284 dar. Es besteht derselbe aus einem Stücke Holz in Form eines Streichriemens, auf dessen einer Fläche *ab* einige Streifen Tuch befestigt werden. Dieses bedeckt man dann mit einem eben so breiten als langen Streifen Stanniol, worüber noch ein Stück weiches Kalbleder oder Leinwand zu liegen kommt. Letztere wird mit dem sogenannten Kienmayer'schen Amalgam (§. 784) bestrichen und dann noch mit einem Stück Seidenzeug überzogen. An dem einen Ende dieses Reibzeugs befindet sich eine Metallkugel *c*, die mit dem Stanniol in Verbindung steht und zur Aufnahme der in dem Reibzeuge frei gewordenen Elektricität dient, am andern Ende aber ist ein Glasgriff g angebracht, woran man das Reibzeug hält. Nach erfolgter Reibung des Kissens mit einer Glasröhre zeigt sich dann die Kugel *c* ebenfalls elektrisch.

Diese Eigenschaft des elektrischen Anziehens und Abstofsens erkannte man zuerst und zwar schon in grauer Vorzeit am geriebenen Bernstein (*ἤλεκτρον*). Es war dieſs aber lange Zeit die einzige Kenntnifs, welche man von der elektrischen Kraft besafs; erst um das Jahr 1600 lernte man diese Wirkung auch an andern Körpern kennen, und mehr als 100 Jahre dauerte es noch, ehe die Elektricitätslehre diesen Zustand der Kindheit überschritt. Im Laufe des 18. Jahrhunderts wurde sie nach und nach von mehren Naturforschern zu einem wissenschaftlichen Zweige der Physik herangebildet, die bedeutendsten Fortschritte aber verdankt sie dem jetzigen Jahrhundert, und vorzüglich waren es die letzten Decennien, wo seit der Entdeckung des Elektromagnetismus die ausgezeichnetsten Physiker bemüht waren, diese neuen Entdeckungen weiter zu verfolgen und dem Gesammtgebiete der elektrischen Wirkungen eine wissenschaftliche Begründung zu verschaffen, deren Vollendung noch eine Aufgabe der gegenwärtigen Zeit ge-

[redacted] eine ziemlich bis zur neuesten Zeit reichende

Geschichte der Elektricität findet man in Gehler's phys. Wrth. n. A. III. S. 315; eine gedrängte Uebersicht davon in Marbach's phys. Lex. II. S. 124.)

§. 483.

Sehr oft ist die in Körpern erregte elektrische Spannung so schwach, dafs sie sich durch die angeführten Wirkungen nicht bemerkbar macht. In solchen Fällen mufs man sich dann besonderer Hilfsapparate, der sogenannten Elektroskope und Elektrometer, bedienen. Erstere sind dazu bestimmt, anzuzeigen, ob in einem Körper der Spannungszustand überhaupt vorhanden ist und welche Art von freier Elektricität er besitzt, ob positive oder negative, letztere sollen aber auch noch zugleich die Messung der Intensität der Spannung gestatten. Ihre Wirkung beruht auf dem allgemeinen elektrischen Attractions- oder Polaritätsgesetze (§. 479) und besteht in dem Anziehen und Abstofsen leichter und beweglicher Leiter. Nach ihrer verschiedenen Einrichtung kann man folgende Hauptarten unterscheiden: 1.) Elektroskope, bei welchen nur ein beweglicher, leichter und isolirter Leiter von dem auf freie Elektricität zu prüfenden Körper erst angezogen und dann abgestofsen wird, 2.) Elektroskope, wo zwei solche Leiter, nachdem ihnen die Elektricität des zu untersuchenden Körpers mitgetheilt worden ist, sich gegenseitig abstofsen, 3.) solche, wo nur einer der beiden Leiter beweglich ist, und wo dieser dann von dem unbeweglichen angezogen oder abgestofsen wird, und endlich 4.) solche, wo sich ein beweglicher isolirter Leiter zwischen einem positiven und einem negativen elektrischen Körper befindet, und wo dann ersterer, nachdem er die Elektricität des zu prüfenden Körpers empfangen hat, von dem entgegengesetzt elektrischen angezogen wird. Bei allen diesen Instrumenten, welche als Elektrometer dienen sollen, mufs dann ein

Maafsstab angebracht sein, an welchem sich die Gröfse der Abstofsung oder Anziehung der als Anzeiger der elektrischen Spannung dienenden Leiter messen und daraus die Intensität jener entweder nur schätzen oder selbst berechnen läfst.

Die gebräuchlichsten Elektroskope der ersten Art sind folgende:

Das elektrische Pendel Fig. 285 besteht aus einer an einem Seidenfaden aufgehangenen kleinen Kugel von Sonnenrosenmark. Es ist diefs der einfachste, aber auch am wenigsten empfindliche Apparat dieser Art.

Hauy's elektrische Nadel Fig. 286 ist eine wie eine magnetische Abweichungsnadel auf einer Spitze horizontal bewegliche Nadel, an deren einem Ende ein Sonnenrosenmarkkügelchen steckt. Der Theil derselben, woran sich das genannte Kügelchen befindet, ist ein ganz dünnes Glasstäbchen oder Röhrchen, der andere Arm mit seiner Kugel, welcher von Messing sein kann, dient zur Aequilibrirung. Dieser Apparat ist schon weit empfindlicher als der vorige und recht geeignet, die Fundamental-Wirkung der Anziehung und Abstofsung daran zu zeigen.

Zu der zweiten Art der Elektroskope, welche auch als Elektrometer eingerichtet werden können, gehören folgende:

Cavallo's Kork- oder Sonnenrosenmarkkugel-Elektrometer. Es besteht aus zwei an dünnen Drähten befestigten Kügelchen, am befsten von Sonnenrosenmark. Diese beiden Drähte hängen an einem Leiter, durch den ihnen die Elektricität mitgetheilt wird, vertical neben einander herab, wie Fig. 287 darstellt.

Volta's Strohhalm-Elektrometer ist diesem ganz ähnlich, indem die Stelle der beiden Kugelpendel zwei Strohhalme vertreten.

Bennet's Goldblatt-Elektrometer hat ebenfalls dieselbe Construction, nur mit dem Unterschiede, dafs die beiden Pendel aus zwei schmalen (etwa 2 Linien breiten) Streifchen ächten Blattgoldes bestehen (s. Fig. 288).

Um die Pendel dieser Elektrometer gegen Luftzug zu schützen, hängt man sie in einem hinlänglich weiten Glascylinder auf, durch dessen Deckel der Leiter, an welchem sie sich befinden, [illegible] hindurch geführt werden mufs. Zur Messung der Gröfse [illegible] eintretenden Abstofsung kann unter [illegible] angebracht werden, wie in [illegible] bemerken, dafs von diesen [illegible] igsten empfindliche

ist, das letzte aber schon ganz schwache Grade elektrischer Spannung anzeigt.

Zur dritten Art der Elektrometer gehören unter andern Henley's Quadrant-Elektrometer, Brandes's Strohhalm-Elektrometer und Coulomb's elektrische Drehwage.

Das Quadrant-Elektrometer Henley's ist eins der mit zuerst erfundenen (1772), und dient nur dazu, die abstofsende Kraft stärkerer Spannungen zu messen, weshalb es auch hauptsächlich bei Elektrisirmaschinen angewendet wird. Es besteht, wie Fig. 289 zeigt, aus einem verticalen Stabe von Holz oder Messing, an dessen Seite ein getheilter Halbkreis befestigt ist. Aus dem Centro desselben hängt ein feiner Draht mit einer Kork- oder Holundermarkkugel herab. Je stärker die Spannung ist, die in den verticalen Leiter übergeht, in einem desto gröfseren Bogen wird die Kugel von diesem abgestofsen.

Das Strohhalm-Elektrometer von Brandes, welches man nur in wenigen Lehrbüchern der Physik angeführt und beschrieben findet, ist zu vielen elektrometrischen Versuchen ganz vorzüglich brauchbar. Fig. 290 stellt ein solches dar. *cd* ist ein etwa 2 Linien starker, gegen 8 Zoll langer Kupfer- oder Messingdraht, welcher in horizontaler Lage auf der Glassäule *ab* isolirt befestigt wird. An dem einen Ende dieses Drahtes befindet sich die Kugel *c* zur Mittheilung der Elektricität, das andere Ende erhält eine gabelförmige Gestalt mit zwei Pfannenlagern *d*, zur Aufnahme der rechtwinkelig durch einen Strohhalm *gh* gehenden Axe bestimmt. *de* ist ein vertical herabgehender Leiter, der sich bei *e* in einem kurzen metallenen Quercylinder endigt, an welchem der Strohhalm in seiner verticalen Stellung anliegt. *eid* ist ein Quadrant von Glas mit Gradtheilung, welche bei *e* mit Null anfängt; seine Befestigung erhält derselbe an dem herabgehenden Leiter *de*. Der Strohhalm *gh* dient als elektroskopischer Körper, dessen Bewegungsaxe bei *d* so angebracht sein mufs, dafs er mit einem kleinen Uebergewicht nach unten die lothrechte Stellung *dh* annimmt und sich um jene Axe leicht in einer Vertical-Ebene bewegen kann.

Die Coulomb'sche oder elektrische Drehwage ist der schon §. 97 seiner Einrichtung nach beschriebene und in Fig. 34 dargestellte Apparat. Soll er als ein elektrischer Mefsapparat brauchbar werden, so mufs die horizontal schwebende Nadel *bd* aus einem dünnen Stäbchen oder Faden Schellack bestehen, welches an dem Ende *d* eine kleine vergoldete Kugel von Sonnenrosenmark oder statt dieser ein kleines Scheibchen ächten Goldpapiers trägt. Am Nullpuncte der Kreistheilung geht durch den Glascylinder ein Kupferdraht, welcher innerhalb desselben mit einer gleich grofsen vergoldeten Kugel versehen ist, so dafs

sich beide Kugeln berühren, wenn die Nadel der Wage auf 0 im Gleichgewichte steht. Um nun die Stärke einer Spannung zu messen, theilt man dem zuletzt erwähnten Leiter die zu prüfende Elektricität mit, wodurch auch die Kugel *d* dieselbe Elektricität erhält und dann von der des Leiters abgestofsen wird. Aus der Gröfse der Ablenkungswinkel läfst sich hierauf, sobald man die Stärke zweier elektrischer Spannungen vergleichen will, diese bestimmen und in Zahlen ausdrücken, wenn man so verfährt, wie S. 120 beschrieben ist. Zum Uebertragen der zu prüfenden Elektricität an die Kugel des Leiters dient am besten ein kleines Scheibchen ächtes Goldpapier oder auch eine kleine vergoldete Kugel, die an einem Schellackstäbchen befestigt ist, weshalb dieser kleine Hilfsapparat die Benennung der Probescheibe erhalten hat.

Mittels der elektrischen Drehwage hat Coulomb auch das bereits §. 480 angeführte Gesetz von der Abnahme der Stärke der elektrischen Spannung aufgefunden und zu bestätigen gesucht, wobei er das S. 119 angegebene Verfahren in Anwendung brachte.

Es ist, wie man aus dem Angeführten ersieht, dieses Instrument ein wahrer Elektricitätsmesser oder Elektrometer, was auch Farraday in neuester Zeit bestätigt hat, jedoch erfordert dessen Anwendung zu solchen genauen Messungen viele Sorgfalt und Genauigkeit, wenn die gefundenen Resultate als richtige Ergebnisse gelten sollen. (S. Handwrtrb. d. Phys. u. Chem. I. S. 601. Eine höchst einfache Construction dieses Apparats beschreibt Dellmann in Poggendorf's Annal. LIII. S. 506.)

Ein der elektrischen Drehwage in vieler Beziehung ähnlicher Apparat ist der im Jahr 1841 von Oersted vorgeschlagene und von Dellmann in einigen Theilen abgeänderte Elektrometer. Die Fig. 291 stellt eine Durchschnittszeichnung desselben dar *abcd* ist ein Kupferdraht, welcher als Elektricitätsleiter dient. Zwischen *bc*, wo er durch das Fufsgestell des Instruments geht, ist er durch eine Glasröhre isolirt. Dem aufwärts gehenden Theile *cd* des Zuleiters diametral gegenüber steht in dem Fufsgestelle ein Glas- oder Elfenbeinstäbchen *fe*. Von *d* nach *e* geht ein etwa ½ Linie breiter dünner Kupfer- oder Silberstreif, der bei *d* leitend mit *dc* verbunden, bei *e* aber mit Gummilack aufgekittet ist. Der elektroskopische Körper, welcher die mittels des Zuleiters dem letztgenannten Metallstreifchen mitgetheilte Elektricität durch seine Bewegung anzeigen soll, ist ein etwa 2 Zoll langer schwacher Kupfer- oder Silberdraht *ghi*, der so gebogen [illegible] sich die eine Hälfte *gh* desselben auf der rechten [illegible] auf der linken Seite des Metallstreifchens *de* [illegible] hier- mit die gleichen [illegible] der Fl[illegible]

an einem Coconfaden *ht* in dem Glascylinder *CC* aufgehängen, welcher, in dem Fufsgestelle stehend, zugleich zur Bedeckung des Instruments dient. Dazu ist dieser Cylinder oben mit einem Deckel *wx* verschlossen, der im Centro eine Hülse hat, um einen Kork *u* aufzunehmen, durch den der Draht *ut* zum Aufhängen der Zeigernadel mittels des Coconfadens geführt wird. Um dem Zeiger die oben angeführte Stellung zu geben, dem Coconfaden dabei aber die kleinste Torsion ertheilen zu können, zieht man den Draht *ut* durch den Kork etwas in die Höhe, so dafs sich die Nadel über dem Streifchen schwebend ausdrehen kann. Ist die Torsion so zu Null geworden, so schiebt man den Draht *ut* wieder so weit herunter, bis die Arme des Zeigers gerade in die Mitte der Breite des Streifchens *de* zu stehen kommen. Um endlich noch das Anlegen der Arme an diesen Streifen zu bewerkstelligen, dient die an dem Drahtende bei *v* angebrachte Drehscheibe, statt welcher aber auch der Draht nur in einem Winkel umgebogen zu werden braucht. Die horizontale Stellung wird dem Apparate durch drei an dem hölzernen Fufse angebrachte Stellschrauben ertheilt.

Sobald nun durch den Zuleiter dem Metallstreifchen *de* Elektricität mitgetheilt wird, erfolgt auch von beiden Seiten eine Abstofsung der elektroskopischen Nadel *ghi*. Um die Gröfse der Ablenkung und dadurch die Stärke der Elektricität zu messen, ist in einem Abstande von 1 Linie unter dem Streifen *de* eine Kreistheilung *pq* (Fig. 291 u. 291ª) auf Pergamentpapier angebracht, die durch zwei Siegellack- oder Schellacktropfen an jenen Streifen isolirt befestigt ist. Zugleich dient diese Kreisscheibe auch der Nadel zur Ruhelage, sobald der Apparat nicht gebraucht und transportirt wird.

Schon in diesem Zustande zeigt dieses Instrument ganz schwache Grade von Elektricität an, seine Empfindlichkeit wird aber bedeutend erhöht, wenn man dabei zugleich noch die inducirende Wirkung der Elektricität zu Hilfe nimmt, worüber das Nähere §. 491 enthält. (Poggendorf's Annal. LIII. 612, LV. 301 u. LVIII 49).

Zu der vierten Classe der Elektrometer gehört bis jetzt allein das Bohnenberger'sche, durch Becquerel vereinfachte Goldblatt- oder elektrische Säulen-Elektroskop. Die Haupttheile dieses Instruments nach Becquerel's Einrichtung sind folgende: *ab* Fig. 292 ist eine kleine trockene Säule von 500 bis 800 Zink-Braunstein-Plattenpaaren, etwa $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser haltend (§. 513). Eine solche kleine Säule erhält, wenn ihre Platten gehörig zusammengepreſst werden, eine Länge von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll. Die über die Säule hinweg gebogenen Poldrähte endigen in zwei einander parallel gegenüber stehende Polplatten *p* und *m*, von etwa 2 Zoll Länge und

gegen ½ Zoll Breite. Vortheilhaft ist es, wenn diese Platten an ihren einander zugewendeten Flächen etwas convex gekrümmt, (galvanisch) vergoldet oder platinirt und mittels Hülsen auf den Poldrähten verschiebbar sind. Zwischen diesen Platten, wovon sich die eine stets in +, die andere in — Spannung befindet, hängt das möglichst schmale Goldblättchen *dg* von dem Elektricitätszuleiter, dem Kupferdrahte *cd*, herab. Steht es genau in der Mitte zwischen jenen zwei Platten, so wird es von jeder gleich stark angezogen und bleibt deshalb unbewegt. Der Apparat ist mit einer dazu passenden Glasglocke bedeckt, durch deren obere Oeffnung und Fassung der in ein Stück Glasröhre mit Gummilack eingekittete Kupferdraht *cd* isolirt eingeführt wird. — Sobald man dem Goldblättchen durch den Kupferdraht, auf den aufserhalb der Glasglocke eine Metallkugel oder Metallplatte *o* aufgeschraubt werden kann, die zu prüfende Elektricität mittheilt, bewegt es sich nach der entgegengesetzt elektrischen Polplatte und zeigt dadurch zugleich die Art der ihm zugeführten Elektricität an. Es gehört diefs Elektroskop unstreitig zu den empfindlichsten und ist ganz geeignet, schwache Spuren freier + oder — Elektricität anzuzeigen. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 671; Biot's Lehrb. d. Phys. III. S. 56; Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. n. F. I. S. 188.)

Um die Empfindlichkeit der von Glascylindern umschlossenen Elektroskope und Elektrometer zu erhöhen, mufs die darin befindliche Luft möglichst trocken sein, was man erreicht, wenn in einem schicklichen Gefäfse etwas geschmolzenes Chlorcalcium mit unter den Glascylinder gesetzt wird.

Eine ausführlichere Beschreibung und Abbildung dieser so wichtigen elektrischen Mefswerkzeuge und auch noch mehrer anderer, welche hier noch anzuführen der Raum nicht gestattete, findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 680—728, Marbach's phys. Lex. II. S. 216—242, Handwrb. d. Phys. u. Chem. I. S. 703, 707, und Dove's Repert. d. Phys. II. S. 95, III. S. 298.

§. 486.

Bei den in §. 484 angeführten Fundamental-Versuchen der Reibungs-Elektricität war auf die Art der dadurch frei gewordenen Elektricität nicht Rücksicht genommen worden. Bei näherer Prüfung ergiebt es sich aber, dafs manche Körper durch Reiben positiv, andere negativ, viele sowohl positiv als auch negativ, und von je zwei an einander geriebenen Körpern der eine stets positiv, der andere

aber negativ elektrisch werden. Um es nun ermitteln zu können, ob ein Körper + oder — elektrisch ist, wird es nöthig, einen andern Körper zu haben, der sich schon in einem der beiden Spannungszustände befindet. Gewöhnlich bedient man sich dazu einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange. Die Elektricität, welche erstere annimmt, hat man, allerdings ganz willkührlich, **positive** oder auch **Glas-Elektricität**, die, welche in letzterer frei wird, **negative** oder **Harz-Elektricität** genannt. Zufolge des elektrischen Polaritäts-Gesetzes (§. 479), nach dem sich gleichartige Elektricitäten abstofsen, ungleichartige aber anziehen, kann man nun mittels eines solchen elektrischen Körpers den Zustand jedes andern, wie leicht begreiflich ist, prüfen, wozu folgende Versuche als Beispiele dienen können.

Erster Versuch. Theilt man zwei elektrischen Pendeln Fig. 285 oder zwei elektrischen Nadeln Fig. 286 die Elektricität einer mit Wolle oder Seide geriebenen Glasröhre mit, so erhalten beide die im Glase frei gewordene + Elektricität. — Sie werden dann von der Glasröhre abgestofsen und stofsen sich auch gegenseitig ab.

Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man statt der Glasröhre eine eben so geriebene Siegellackstange anwendet, und zwar haben in diesem Falle die Körper — Elektricität.

Hieraus erweist sich also das Abstofsen gleichartig elektrisirter Körper.

Zweiter Versuch. Man theile dem einen dieser elektroskopischen Körper die + Elektricität des Glases, dem andern die — Elektricität des Siegellacks mit. In diesem Falle wird der erstere von der negativen Siegellackstange, der letztere von der positiven Glasröhre angezogen, und eben so zeigen auch die elektrischen Körper gegenseitige Anziehung.

Hierdurch findet der zweite Theil des Polaritätsgesetzes seine Bestätigung, dafs sich ungleichartige Elektricitäten anziehen.

Will man an Körpern, welche eine geringere elektrische Spannung annehmen, die in ihnen frei gewordene Elektricität prüfen, so mufs man sich eines empfindlicheren Elektro[skops] bedienen. Am geeignetsten dazu ist das Becquerel'sche [Goldblatt-] Elektrometer Fig. 292, da es sogleich die Art [der Elektricität]

tricität anzeigt. Bei andern Elektrometern muſs man erst den elektrischen Köpern die Elektricität des zu prüfenden mittheilen, und diese dann mit einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange untersuchen.

Dritter Versuch. Reibt man eine Glasröhre auf einem fest zusammengerollten Stück wollenen Zeugs oder auf einem eben so gerollten seidenen Tuche (es lassen sich die genannten Stoffe auch noch zweckmäſsiger über ein Stück Holz wickeln, welches die Form eines Streichriemens hat), so zeigt dann das Glas, an einem Elektroskope geprüft, freie +, das Tuch oder die Seide freie — Elektricität. — Es wurden mithin beide sich reibende Körper entgegengesetzt elektrisch.

Vierter Versuch. Wenn man den im vorigen Versuche angegebenen Reibeapparat mit einer Glasröhre gerieben hat, so wird man finden, daſs sowohl die Wolle wie die Seide — elektrisch geworden ist; wendet man aber statt der Glasröhre eine Siegellackstange an, so werden die letztgenannten Stoffe + elektrisch.

Reibt man eine glatte Glasröhre mit der Hand, so zeigt sie sich + elektrisch; ist die Oberfläche der Glasröhre aber matt geschliffen, so wird sie, auf dieselbe Weise behandelt, — elektrisch.

Diese letzteren Versuche beweisen mithin, daſs ein und derselbe Körperstoff durch Reiben sowohl + als auch — elektrisch werden kann.

Fünfter Versuch. Sehr gut eignen sich auch, um die bei zwei an einander geriebenen Körpern frei werdenden + Elektricitäten nachweisen zu können, Scheiben von etwa 3 Zoll Durchmesser, die entweder aus den zu prüfenden Stoffen selbst bestehen oder mit diesen überzogen worden sind, an der andern Fläche aber mit einem isolirten Stiele versehen werden müssen. Nach an einander vollbrachter Reibung und Trennung zeigt sich dann bei der Prüfung an einem hinlänglich empfindlichen Elektroskope die eine Scheibe stets positiv, die andere negativ elektrisch.

Mehre ausgezeichnete Physiker beschäftigten sich damit, das Gesetz aufzufinden, nach welchem man im Voraus bestimmen kann, in welchen der beiden elektrischen Zustände ein jeder von zwei an einander geriebenen Körpern versetzt werde. Bei Nichtleitern scheint sich Folgendes ziemlich zu bestätigen:

1.) Die [illegible] sind vorzüglich geeignet,

Der Diamant z. B., als der härteste Körper, wird, mit allen andern Edelsteinen und auch mit Glas gerieben, + elektrisch. Schwefel ist nicht so hart wie Bernstein, dieser weniger hart als Siegellack u. s. w., wonach die letztgenannten Stoffe allemal + elektrisch werden.

2.) Von zwei gleichartigen Körpern wird jedesmal derjenige, welcher sich bei'm Reiben **mehr erwärmt**, **negativ**, der **kältere** aber **positiv** elektrisch.

Als Beleg hierzu können folgende Versuche angeführt werden:

Sechster Versuch. Reibt man zwei seidene Bänder kreuzweis über einander, so wird das der Länge nach geriebene +, das andere — elektrisch werden.

Wird ein matt geschliffenes Stück Spiegelglas auf einem polirten gerieben, so wird ersteres —, letzteres + elektrisch.

Ferner hat sich ergeben, dafs das **Katzenfell** der elektropositivste und der **Schwefel** wahrscheinlich der elektronegativste Körper ist, d. h. der erstgenannte Körper wurde bei'm Reiben an andern Körpern stets +, der letztgenannte stets — elektrisch. Alle übrigen Körper lassen sich nun zwischen diesen beiden so eingereiht denken, dafs jeder, mit einem ihm nachfolgenden gerieben, + Elektricität, mit einem ihm vorangehenden gerieben, — Elektricität annimmt, und dafs der dabei eintretende Spannungszustand um so stärker ausfällt, je weiter die Körper selbst in der Reihe von einander entfernt sind. Eine solche Reihenfolge der Körper wird eine **elektrische Spannungsreihe** genannt, jedoch hat man noch nicht jedem der untersuchten Körper in dieser seine Stelle mit Sicherheit anweisen können, weil mancherlei Einflüsse diese zu verändern scheinen.

Ueber die Isolatoren der Elektricität theilt Pfaff folgende Reihenfolge mit, bei welcher der positivste den Anfang macht, der negativste aber das Schlufsglied bildet.

+ Katzenfell, Diamant, Kaninchenfell, Turmalin, Glas, Wolle, Papier, weifse Seide, schwarze Seide, Siegellack, Colophon, Bernstein, Schwefel —.

Für Nichtleiter und Leiter giebt Ritter folgende Spannungsreihe an:

+ Diamant, Zink, Glas, Kupfer, Wolle, Silber schwarze Seide, Grau-Manganerz, Schwefel —.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 243—251, und Marbach's phys. Lex. II. S. 98—102.)

§. 487.

Der Nichtleiter, und hauptsächlich des Glases oder auch bisweilen des Harzes, bedient man sich, um in ihnen durch Reibung mit einem dazu geeigneten Körper, welches gewöhnlich ein weicher, elastischer Stoff ist, den gröfstmöglichen Spannungszustand hervorzurufen. Erfahrungen gemäfs ist für Glas der wirksamste Erreger ein Amalgam von Zink, Zinn und Quecksilber (a), welches mit etwas Fett auf Leder oder Seidenzeug aufgetragen wird, für Harz aber Katzenfell, womit dieses gepeitscht oder gerieben wird.

a) Es ist dieses Amalgam unter dem Namen des Kienmayer'schen bekannt. Am wirksamsten zeigt sich das von Pfister angegebene Mischungsverhältnifs von 2 Theilen Zinn, 3 Theilen Zink und 4 Theilen Quecksilber. Die Anfertigung desselben geschieht auf folgende Weise. Zuerst wird der Zink geschmolzen, diesem dann das Zinn zugesetzt, das Gemisch, sobald es völlig flüssig ist, gehörig umgerührt und hierauf in eine hölzerne, mit Kreide ausgestrichene Büchse gegossen, in der sich das erwärmte Quecksilber befindet, dann bis zum Erkalten stark geschüttelt und zuletzt noch in einem Mörser möglichst fein pulverisirt.

Die Leiter, vorzugsweise die Metalle, und gewöhnlich Kupfer oder Messing, benutzt man, um die in den Nichtleitern frei gewordene Elektricität durch Mittheilung aufzunehmen, wozu sie aber dann isolirt werden müssen, was durch Nichtleiter, meist durch Glas, geschieht. Zufolge der Eigenschaften der Leiter (§. 473) verbreitet sich die empfangene Elektricität sogleich über ihre ganze Oberfläche und versetzt sie in den Spannungszustand. Es hängt aber die Art, wie sich die Elektricität über die

1 Minute $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, wogegen er bei feuchter Luft oft bis auf $\frac{1}{20}$ der mittleren Spannung stieg.

Die in elektrischen Leitern vorhandene freie Elektricität geht eben so auch durch Mittheilung an andere Leiter über, und zwar hat sich bei der hier eintretenden Verbreitung der Elektricität folgendes Gesetzliche herausgestellt: Sind z. B. a und b zwei gleich grofse und gleich geformte isolirte Leiter, und ist a allein elektrisch, so zeigen beide nach eingetretener Berührung eine gleich starke Spannung, nämlich die Hälfte von der, welche a vorher allein besafs. Hatten beide vor der Berührung gleich viel, aber ungleichnamige Elektricität, so zeigen sie sich nach der Berührung unelektrisch. Jeder Leiter hat nämlich dem andern die Hälfte seiner Elektricität mitgetheilt, so dafs beide gleich viel + und − Elektricität enthalten, wodurch der Neutralitätszustand eintritt. Sind a und b beide elektrisch, aber ungleich stark, und zwar beide gleichartig oder ungleichartig, so gleicht sich nach ihrer Berührung die freie Elektricität in der Art aus, dafs beide in einen gleichen Spannungszustand kommen, dessen Gröfse bei gleichartigen Elektricitäten das Mittel zwischen ihren beiden vorigen Spannungszuständen ist, bei ungleichartigen aber dem Mittel der Differenz derselben entspricht, so dafs, wenn durch a und b zugleich die Stärke der Spannung ausgedrückt würde, im ersteren Falle die gemeinschaftliche Spannung $\frac{a+b}{2}$, im andern aber $\frac{a-b}{2}$ sein müfste. Ist aber die Oberflächengröfse der Leiter verschieden, so verbreitet sich auch das Quantum der freien Elektricität gleichmäfsig im Verhältnifs zur Gröfse der Gesammtoberfläche. Sobald endlich nur einer der elektrischen Leiter a isolirt, der andere b aber mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, verschwindet nach eingetretener Berührung

sofort auch in *a* der elektrische Spannungszustand. Durch die Verbindung mit der Erde wird nämlich dieser selbst die freie Elektricität so mitgetheilt, dafs sich dieselbe über den ersten Leiter und die Erde gleichmäfsig verbreitet, und da nun gegen die Quantität der auf der Oberfläche des elektrischen Leiters vorher angehäuften Elektricität die Erde eine unendlich grofse Oberfläche darbietet, so mufs nothwendig die Elektricität des Leiters zu einer unendlich geringen Spannung herabsinken, d. h. verschwinden.

Mit hinreichender Genauigkeit läfst sich die im Vorigen angeführte gesetzliche Verbreitung der freien Elektricität durch Mittheilung an zwei ganz gleichen Elektrometern nach der Einrichtung von Brandes (s. §. 485, Fig. 289) erweisen. Streng genommen, ist allerdings die Stärke der einem solchen Elektrometer mitgetheilten Elektricität den Graden des Abstofswinkels, welche der Strohhalm am Quadranten anzeigt, nicht völlig proportional, allein die stattfindende Differenz kann unbeachtet bleiben, wenn der Abstofswinkel nicht gröfser als 40° wird. Dann läfst sich nämlich annehmen, dafs eine Abstofsung von respect. 20° oder 10° einer $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ so starken Spannung entspricht, als die ist, welche eine solche von 40° bewirkt. Um sich aber von der völligen Gleichheit zweier solcher Elektrometer zu überzeugen, ertheilt man dem einen eine Ladung, wodurch der Strohhalm z. B. um 40° abgelenkt wird, bringt die Kuge *c* dieses Elektrometers mit der des andern in Berührung, und sieht, ob nachher die Strohhalme beider Elektrometer gleiche Grade der Ablenkung angeben, was man durch kleine Correctionen an den Strohhalmen leicht bewirken kann, wenn es nicht stattfinden sollte. — Folgende Versuche werden dann die obigen Hauptfälle constatiren.

Erster Versuch. Man ertheile dem einen Elektrometer *a* eine gewisse Elektricität und berühre die Kugel des andern unelektrischen *b* mit der des ersten. — Der Strohhalm des Elektrometers *a* wird um etwas mehr als die halbe Gradzahl sinken, während der des zweiten *b* nun dieselbe Ablenkung erhält. Dasselbe tritt wieder ein, nachdem man die Elektrometer getrennt, den einen ableitend berührt und ihn nachher wieder mit dem noch elektrischen in Verbindung gesetzt hat.

Zweiter Versuch. Man elektrisire be[illegible]trometer ungleich stark mit gleichartiger Elektricität[illegible] ihre Kugeln in gegenseitige Berührung. Der Ste[illegible] elektrischen *a* wird sinken, der des schwä[illegible]

dagegen steigen, so dafs beide einen gleichen Grad der Spa
ung angeben, und zwar das arithmetische Mittel der Gradz
welche die Strohhalme vor der Berührung anzeigten. — E
zeigt sich ebenfalls wieder die Aequilibrirung der elektrisc
Spannung.

Dritter Versuch. Man ertheile den Elektrometern *a* u
b gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricität, so dafs
Strohhalme auf gleichen Graden stehen, und bringe ihre Kug
in Contact. — Im Augenblicke der Berührung sinken bei
Strohhalme auf Null, weil sich die gleichen Mengen der e
gegengesetzten Elektricitäten neutralisiren.

Vierter Versuch. Man theile den Elektrometern *a* un
entgegengesetzte Elektricität, aber in verschiedener Menge mit u
bringe dann ihre Kugeln an einander. — Die Strohhalme bei
Elektrometer werden nach der Berührung das arithmetische M
tel der Differenz ihrer vorherigen Spannung in Graden angeb

Fünfter Versuch. Man elektrisire endlich den Elekt
meter *a* willkührlich; bringt man ihn dann mit dem *b*, welc
mit der Erde in leitender Verbindung steht, in Berührung,
wird augenblicklich der Strohhalm von *a* auf Null sinken.
Die vorhandene freie Elektricität verbreitete sich nämlich ü
die Erdoberfläche.

Nichtleiter zeigen nach den von ihnen bereits (§. 4
angeführten Haupteigenschaften ein ganz anderes Verhal
zur Elektricitäts-Mittheilung. Sie können nämlich zv
auch durch Mittheilung elektrisch werden, dieſs geschi
jedoch nur an den Stellen ihrer Oberfläche, wo man
mit einem elektrischen Körper unmittelbar berührt. Di
ihnen mitgetheilte Elektricität verbreitet sich nicht we
oder doch nur langsam über ihre Oberfläche, es adhä
dieselbe an den Berührungsstellen mit einer gewissen
harrlichkeit, wodurch diese sich nach längerer Zeit, se
dann, wenn sie von Leitern berührt wurden, noch el
trisch zeigen. — Es wird sich später (§. 497) Gelegenh
finden, dieſs bei einem Versuche zu bestätigen, durch w
chen eine Formverschiedenheit zwischen den beiden e
gegengesetzten Elektricitäten nachweisbar wird. — Die
Verhalten zu der ihnen mitgetheilten Elektricität verän
sich aber, sobald sich auf ihrer Oberfläche ein Ue

irgend einer leitenden Substanz bildet. In dem Maſse, wie dieser Ueberzug zunimmt und dadurch dichter und leitender wird, werden sie den Leitern immer ähnlicher und bestätigen dadurch zugleich den bereits (§. 473) ausgesprochenen Erfahrungssatz, daſs freie Elektricität nur an der Oberfläche der Körper haftet, indem nämlich ihre Elektricität allmählig an die Oberfläche des leitenden Körpers übergeht.

§. 488.

Es vermag aber auch ein elektrischer Körper jeden in seiner Nähe befindlichen isolirten Leiter noch auf andere Weise in einen besonderen, und zwar bipolaren Zustand elektrischer Spannung zu versetzen. Es ist dieſs nämlich die auch schon (§. 483) angeführte Elektrisirung durch Vertheilung oder Induction. Die eigenthümlichen Erscheinungen, welche dabei der durch Vertheilung elektrisch gewordene Leiter zeigt, sind folgende:

Der dem elektrischen Körper nächste Theil des Leiters zeigt sich entgegengesetzt, der entfernteste gleichnamig elektrisch, und zwischen beiden Puncten befindet sich eine Stelle, wo der Leiter den Zustand der elektrischen Indifferenz besitzt.

Um dieſs auf eine anschauliche Weise zeigen zu können, dient folgender einfache Apparat. Es besteht der Leiter, in welchem die Elektricitäts-Vertheilung vor sich gehen soll, aus einem etwa $\frac{1}{4}$ Zoll starken, 8 bis 10 Zoll langen, an seinen Enden abgerundeten Kupferdrahte *ab* Fig. 293, welcher, mittels eines Glasstabes *cd* isolirt, an der Stativstange *st* nach Erfordern verstellt werden kann. An mehren Stellen dieses Drahtes, unter andern auch an den Enden und in der Mitte, befinden sich kleine Stücke Strohhalme, die eben so viele Elektroskope vorstellen, beweglich aufgehangen. Als elektrischen und indu- [illegible] Körper kann man sich entweder eines mit Katzenfell [illegible] und dadurch — elektrisch gemachten Harz- Leidener-Flasche (§. 492) bedienen, die man geladen hat. Will man nun die eben

angeführten Erscheinungen nachweisen, so verfährt man so, wie es der folgende Versuch beschreibt.

Erster Versuch. Stellt man den isolirten Leiter, während die elektrischen Pendelchen an ihm herabhängen, nahe über die elektrische Harzfläche oder über die Kugel der Ladungsflasche, so bemerkt man dann Folgendes:

1.) Die am Leiter hängenden Pendelchen werden von diesem abgestofsen und zeigen dadurch, dafs der Leiter elektrisch geworden ist.

2.) Die Ablenkung der Pendel ist an den Enden des Leiters am stärksten, wird gegen die Mitte immer schwächer, und in ihrer Nähe giebt es eine Stelle, wo, wenn sich dort ein elektroskopischer Pendel befindet, gar keine Ablenkung desselben stattfindet.

3.) Untersucht man mittels einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange die Elektricität der divergirenden Pendel, so findet man, wenn der inducirende Körper + elektrisch ist, dafs das ihm nächste Ende des Leiters — Elektricität, das entfernteste + Elektricität hat. Gerade das Umgekehrte zeigt sich dagegen, wenn der inducirende Körper — elektrisch ist.

Den Vorgang dieser Wirkung erklärt man sich auf folgende Weise: Der inducirende Körper, von dem wir annehmen wollen, er befinde sich im + Spannungszustande, zieht einen Theil der — Elektricität des in seine elektrische Atmosphäre gebrachten isolirten Leiters an, wodurch sich diese an dem Ende ansammeln mufs, welches dem + elektrischen Körper am nächsten ist; die ihm gleichnamige + Elektricität wird dagegen abgestofsen und concentrirt sich am entferntesten Ende des Leiters. Es würde sich die sämmtliche — Elektricität des Leiters an der bezeichneten Stelle ansammeln, wenn nicht zugleich die in demselben befindliche + Elektricität auf seine negativen Nachbartheilchen anziehend einwirkte; daher zeigt sich auch die eintretende elektrische Spannung um so gröfser, je näher der Leiter dem elektrischen Körper gebracht wird. Gegen die Mitte des Leiters hin mufs sich aber in diesem die anziehende und abstofsende Kraft der beiden getrennten Elektricitäten compensiren, und daher befindet er sich dort im Zustande der elektrischen Neutralität.

Dieser polar-elektrische Spannungszustand des Leiters verschwindet aber, sobald man ihn aus der Wirkungssphäre des elektrischen Körpers entfernt, ohne ihn vorher ableitend berührt zu haben. Die vertheilende Wirkung der Elektricität auf den Leiter findet nämlich alsdann nicht mehr statt, und die in diesem getrennt gewesenen ± Elektricitäten vereinigen sich wieder zu ihrem Neutralitätszustand.

Zweiter Versuch. Wenn man so, wie oben beschrieben wurde, mit beiden Körpern, nämlich mit dem isolirten Leiter *ab* Fig. 293 und der elektrischen Flasche *A*, verfährt, so zeigt sich die Rückkehr des ersteren in seinen Indifferenz-Zustand dadurch, dafs sämmtliche an ihm befindliche Pendel ihre Ablenkung verlieren.

Wird jedoch der Leiter, während er sich durch Vertheilung elektrisch zeigt, an irgend einer Stelle ableitend berührt, so verliert derselbe die von dem inducirenden Körper abgestofsene gleichnamige Elektricität, wogegen die ungleichnamige an dem genäherten Ende in verstärkter Spannung auftritt. — Diese Erscheinung hat Veranlassung gegeben, die erstere Elektricität, welche sich ableiten läfst, freie, die letztere aber, bei der dieſs nicht der Fall ist, weil sie von der entgegengesetzten Elektricität des inducirenden Körpers angezogen und dadurch fest gehalten wird, gebundene Elektricität zu nennen. — Entfernt man nachher den Leiter in diesem Zustande aus der Wirkungssphäre des elektrischen Körpers, so erscheint er wieder elektrisch, und zwar auf seiner ganzen Oberfläche gleichartig, aber ungleichnamig mit dem inducirenden Körper. Die unter dem Einflusse des letztgenannten Körpers in dem Leiter gebunden gehaltene Elektricität wird jetzt wieder frei und verbreitet sich nun über die ganze Oberfläche des

ich. Sobald man nämlich, wie jetzt be-
r *ab* Fig. 293 irgendwo mit einem
das Pendelchen bei *b* niedersinken,

das bei *a* aber eine stärkere Divergenz annehmen. Entfernt man alsdann beide Körper von einander, so erhalten alle an dem inducirt gewesenen Körper befindlichen Pendelchen eine gleich starke Divergenz, und prüft man ihre Elektricität mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange, so zeigt sich diese der Elektricität entgegengesetzt, welche die Induction bewirkte, oder nach der Figur würde der ganze Leiter negativ elektrisch geworden sein.

Aus dem Allen ergiebt sich, dafs zwischen der Elektrisirung durch Vertheilung und Mittheilung wesentliche Unterschiede stattfinden. Nämlich 1.) bei der Induction tritt kein eigentlicher Uebergang freier Elektricität an den andern Körper, mithin auch keine Vereinigung von ± Elektricität ein, wie dieſs bei Elektrisirung durch Mittheilung geschieht, sondern die in dem elektrischen Körper vorhandene freie polare Kraft äufsert nur das Bestreben der Vereinigung mit ihrem Gegensatze und zieht ihn in dem inducirten Körper an sich, woraus dann das gegenseitige Binden und Festhalten entspringt. 2.) Die Entfernung, bis auf welche in dieser Weise die Elektricität ihre Wirkung äufsert, ist weit gröfser als bei der Mittheilung, denn hier findet sie entweder nur bei unmittelbarer Berührung, oder, sobald die Spannkraft der freien Elektricität hinlänglich grofs ist, in einer solchen Nähe statt, wo die Neutralisirung der ± Elektricität in der sie noch trennenden Luftschicht vor sich gehen kann. 3.) Endlich wird bei der Vertheilung stets der entgegengesetzte, bei der Mittheilung dagegen der gleichartige elektrische Zustand in dem zu elektrisirenden Körper erzeugt, d. h. alle in der Wirkungssphäre eines positiv elektrischen Körpers befindlichen Körper werden negativ, in der eines negativ elektrischen positiv elektrisch.

Obgleich also ein elektrischer Körper, der vertheilend auf andere einwirkt, in Bezug auf die Menge der in ihm vorhandenen freien Elektricität keine Aenderung erleidet, so tritt bei ihm doch während seiner polaren Thätigkeit

genthümliche Modification in der Intensität seiner
chen Spannung ein. Es wird dieselbe nämlich um
gen Theil der freien polaren Kraft, der durch die her-
achte Inductions-Wirkung seinen Gegensatz anzieht
n diesem auf gleiche Weise beschäftigt wird, ge-
ht, und dadurch erlangt der Körper die Fähigkeit,
n, der ihm durch Mittheilung freie Elektricität zu-
noch mehr davon aufzunehmen, oder während der
ons-Wirkung eines Körpers vermehrt sich dessen
ität für Aufnahme neuer Elektricität, und in dem
wie ihm diese zufliefst, vermehrt sich auch ihre
it. — Auf diesem gegenseitigen Verhalten der durch
lung elektrisch werdenden Körper beruht auch die
ction der verschiedenen, für die Elektricitätslehre
htig gewordenen Verstärkungs- und Verdichtungs-
te, die später in den §§. 491—495 beschrieben

ch bei nicht isolirten Leitern, so wie bei Nichtleitern,
die vertheilende Wirkung der Elektricität nach dem-
Gesetze. Bei ersteren aber kann sich die vertheilte
cität nicht wirksam zeigen, weil sie durch die lei-
'erbindung mit der Erde von dieser aus immer wie-
tralisirt wird, und bei Nichtleitern erstreckt sich
des Leitungswiderstandes die vertheilende Wirk-
r auf einen ganz kleinen, dem elektrischen Körper
hsten liegenden Raum. Ueber diese Grenze hinaus
er noch ein abwechselnder Spannungszustand in der
, dafs mehre auf einander folgende Zonen ver-
Elektricität entstehen, wovon jede folgende im Wirk-
eise der vorhergehenden liegt, die aber mit der Ent-
; vom primitiven Erregungspuncte, dem Gesetze der
me der elektrischen Wirkung entsprechend, immer
her werden und endlich verschwinden.

Mit Vortheil läfst sich die Inductions-Wirkung bei'm G
brauche der Elektroskope und Elektrometer anwenden, sob
diese nämlich empfindlich genug sind, wie diefs z. B. bei
Bennet'schen und Oerstedt'schen der Fall ist. Sie komm
dann schon bei Annäherung des elektrischen Körpers in Thäti
keit, und zwar divergiren die elektroskopischen Körper zufolg
des Inductions-Gesetzes mit der Elektricität, welche dieser be
sitzt. Berührt man daher den Zuleiter eines solchen Mefsappa
rats, während er sich im Vertheilungszustande befindet, mi
dem Finger, so wird dadurch die abgestofsene freie Elektricitä
abgeleitet, und die elektroskopischen Körper zeigen sich nich
mehr afficirt. Nachdem man aber den Finger und dann de
auf seine freie Elektricität zu prüfenden Körper entfernt, zeig
sich das Elektrometer wieder elektrisch; aber nun hat es di
entgegengesetzte Elektricität von letzterem angenommen, di
jetzt auf die schon mehrmals angegebene Weise untersuch
werden kann. Noch empfindlicher für diese Einwirkung werde
diese genannten Elektrometer und auch die elektrische Dreh
wage, wenn man ihnen erst unmittelbar durch Berührung ein
geringe elektrische Spannung mittheilt und dann den elektri
schen Körper nähert. Vergröfsert sich in diesem Falle di
Divergenz der sich abstofsenden elektroskopischen Körper, s
hat der genäherte dieselbe Elektricität, die man dem Elektro
meter mittheilte; vermindert sie sich aber, so hat derselbe di
entgegengesetzte Elektricität. Bei'm Becquerel'schen Elektro
skop zeigt aber die Bewegung des Goldblättchens nach de
entgegengesetzt elektrischen Polplatte unmittelbar den Elektr
citätszustand des genäherten Körpers an. — Um dem Oerstedt
schen Elektrometer Fig. 291 diesen Vorzug des Becquerel'sche
ebenfalls zu ertheilen, giebt man demselben nach Dellmann
Vorschlag noch einen zweiten, und zwar einen Induction
Zuleiter. Es wird nämlich zu diesem Behufe durch das Centru
des Fufsgestells der Kupferdraht *srk* mittels einer Glasröhr
isolirt hindurchgeführt. Von *k* aus gehen, um den ersten Zule
ter, und zwar das Metallstreifchen *de* durch Induction elek
trisch zu machen, in einem Abstande von ungefähr 1 Linie unt
der Kreistheilung zwei horizontale Arme *kn* und *kl* aus, welch
bei *n* und *l* nach *o* und *m* aufwärts gebogen sind. Durch Dreh
ung des unter dem Fufsgestelle hervorragenden Theils *rs* dies
Zuleiters kann man den aufrecht stehenden Armen *no* und *l*
desselben jeden beliebigen Abstand von den Armen *gh* und
der elektroskopischen Nadel ertheilen. — Sobald man diese
Inductionsleiter von der Korkkugel *s* aus eine ganz geringe
Menge + oder — Elektricität zuführt, wird durch die Induction
Wirkung der Metallstreif entgegengesetzt elektrisch, und d
hierauf abgestofsene elektroskopische Zeiger nimmt eine der

ihn zugleich einwirkenden ± Elektricität entsprechende Stellung zwischen dem Metallstreifchen *de* und den beiden aufrecht stehenden Armen *no* und *lm* des zweiten Leiters an — Wenn jetzt dem ersten oder Hauptzuleiter, auf den sich auch noch eine Condensationsplatte *a* aufschrauben läfst, die zu prüfende Elektricität mitgetheilt wird, so erfolgt auch bei den allerschwächsten Spuren derselben eine dem elektrischen Attractions-Gesetze entsprechende Bewegung der Nadel. (Das Weitere hierüber s. in Poggendorf's Annal. LVIII. 49.)

Das in dem Vorangehenden erläuterte Gesetz der Vertheilung ist für die Erklärung der meisten elektrischen Erscheinungen, und zwar, wie wir später sehen werden, nicht blos für die der Reibungs-Elektricität von besonderer Wichtigkeit, da die Induction die primitive Wirkung ist, die jeder elektrische Körper auf andere ausübt, die in seine Wirkungssphäre kommen. — Ohne vorausgehende Vertheilung erfolgt keine elektrische Anziehung und Abstofsung; denn sobald ein unelektrischer beweglicher Körper von einem elektrischen angezogen wird, sind es nicht die Körper, die diefs bewirken, sondern die in ihnen durch die Induction in Thätigkeit kommenden polaren Kräfte der ± Elektricität. Dasselbe geschieht auch bei der Mittheilung der Elektricität. Bevor nämlich der Uebergang der freien Elektricität des einen Körpers an den andern erfolgt, hat diese in dem unelektrischen schon die Vertheilung von dessen neutraler Elektricität bewirkt und die der seinigen entgegengesetzte an sich gezogen. Erst nach Ausgleichung dieser Gegensätze tritt der Uebergang oder die Mittheilung der noch übrig gebliebenen freien Elektricität (nach §. 487) an den anfänglich unelektrischen Körper ein, wodurch beide gleichartig elektrisch werden und sich nun gegenseitig abstofsen.

S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. 297—305; Marbach's phys. Lex. II. 102—107; Dove's Repert. d. Phys. II. 29—36, VI. 137—147; Poggendorf's Annal. XXXVII. 642, XLIV. 332 u. 624.

B. Die Elektrisirmaschine, ihre Wirkung und ihr Gebrauch.

§. 489.

Bei den in dem Vorangehenden beschriebenen Fundamental-Versuchen bedarf es nur geringer Elektricitäts-Mengen von mäfsiger Spannung, um die Gesetze der Spannungs-Elektricität kennen zu lernen. Will man aber auch von solchen Wirkungen eine nähere Kenntnifs erlangen, welche nur ein gröfseres Quantum freier Elektricität von hoher Spannung hervorzubringen vermag, so mufs man Mittel anwenden, durch die man nicht allein eine Zeit lang ununterbrochen eine hinlängliche Menge Elektricität frei machen, sondern auch solche, wodurch man diese sammeln und verdichten kann. Das hierzu geeignetste Erregemittel ist ebenfalls die Reibung, und die Menge der dadurch zu erhaltenden Elektricität hängt, aufser der Anwendung der dazu geeignetsten Körper, vorzüglich von der Gröfse der sich reibenden Flächen ab. Um aber die auf diese Weise frei gewordene Elektricität zu sammeln und ihr den erforderlichen Grad der Spannung zu ertheilen, sind Körper nöthig, auf deren Oberfläche sie sich leicht verbreiten und verdichten kann. Zu Erreichung des ersten Zwecks bedient man sich hauptsächlich der Nichtleiter, zu Erlangung des letzteren aber der Leiter.

Die Apparate, welche, auf diesen Erfahrungen beruhend, dazu bestimmt sind, grofse Elektricitätsmengen von hoher Spannung zu entwickeln, heifsen **Elektrisirmaschinen**. Sie bestehen aus drei wesentlichen Haupttheilen. Diese sind folgende:

1.) **Ein sich reibender Körper, ein Nichtleiter**, von grofser Fläche, gewöhnlich ein Glascylinder oder eine Glasscheibe, verbunden mit einer Vorrichtung, durch welche er sich um eine horizontale feste Axe ohne Unterbrechung drehen läfst.

in Körper, auf welchem jener gerieben wird, annte Reibzeug. Es besteht diefs aus einem lastischen, meist unvollkommenen Leiter, welcher nen Theil der Oberfläche des erstgenannten Nicht- iörig anschliefst. Während der durch die Dreh- Nichtleiters stattfindenden Reibung wird die in örpern vorhandene neutrale Elektricität zersetzt, ch erhält der eine Körper freie +, der andere lektricität. Besteht der Nichtleiter, wie gewöhn- Glas, so wird dieser positiv und das Reibzeug ektrisch.

Die Conductoren, zwei isolirte Leiter, ge- metallene, an beiden Enden halbkugelförmig te, auf Glassäulen stehende Hohlcylinder, wovon ur Aufnahme der + Elektricität des Glases, der r Ansammlung der — Elektricität des Reibzeugs ist.

bis jetzt immer noch am meisten verbreiteten Elektrisir- n sind die sogenannten Cylindermaschinen. Bei t der sich reibende Nichtleiter ein hohler, horizontal Glascylinder, welcher mittels einer Kurbel um seine reht werden kann. Unter ihm befindet sich das Reib- welches ⅓ bis höchstens ½ der Oberfläche des Cylinders ist und an diese durch Federn angedrückt wird. Damit m Cylinder während des Reibens frei werdende Elek- ch in der Luft nicht zerstreuen kann, ist an der vor- ite des Reibzeugs ein Stück Tafft oder Wachstafft , welches bis zu dem diese Elektricität aufnehmenden r reicht und sich, von dem elektrisch gewordenen angezogen, auf diesen anlegt. Will man auch die im e frei gewordene Elektricität sammeln, so muss das- rch Glasfüsse isolirt werden.

Conductor, welcher zur Aufnahme der frei gewordenen ät des Glascylinders bestimmt ist, heisst der positive ctor. Die Form desselben ist, wie schon angeführt gewöhnlich cylindrisch, und meist erhält derselbe eine ile, zur Axe des Glascylinders rechtwinkelige Lage Elektricität von der ganzen gerieben zu können, steht über der Mitte des

eine Ende dieses Conductors, woran sich noch ein kleiner metallener Hohlcylinder befindet, der sogenannte Zuleiter oder Sauger, welcher ziemlich so lang als der Glascylinder sein mufs und diesem ganz nahe gebracht werden kann. Der Conductor des Reibzeugs, wenn überhaupt ein solcher vorhanden ist, dient zur Aufnahme der in diesem frei gewordenen Elektricität und heifst der negative Conductor. Es besteht derselbe gewöhnlich aus einer metallenen, hinlänglich grofsen Hohlkugel, die durch einen Draht oder eine Metallröhre unmittelbar mit dem Reibzeug in Verbindung steht. Die Fig. 294 stellt eine solche Cylindermaschine nach der beschriebenen Einrichtung dar; *GG* ist der Glascylinder, *R* das unter ihm angebrachte Reibzeug mit dem Stücke Taffet *T*, + *C* ist der positive Conductor mit dem Sauger *SS*, — *C* der negative Conductor und *g*, *g*, *g* sind die isolirenden Glassäulen.

Bei den Scheibenmaschinen wird, wie auch schon die Benennung andeutet, statt des Cylinders eine Kreisscheibe von Spiegelglas angewendet. Diese hat in ihrem Centro eine Axe mit Kurbel und kommt mit jener in die Pfannen zweier verticaler Säulen zu liegen, zwischen welchen dann die Scheibe drehbar ist. Die Reibzeuge, an welchen sich beide Flächen der Scheibe reiben, befinden sich zwischen den verticalen Säulen so angebracht, dafs sie einander gegenüber an jene angedrückt werden, und sind eben so, wie bei den Cylindermaschinen, mit Wachstafftflügeln versehen, welche sich an die geriebenen Glasflächen anlegen. Der positive Conductor steht vor derjenigen Seite der Scheibe, wo sich die Kurbel nicht befindet, und ist mit zwei Armen versehen, von welchen jeder sich in zwei Saugern endigt, die um beide Seiten der Glasflächen greifen. Erhalten diese Maschinen einen negativen Conductor, so ist er am vortheilhaftesten und einfachsten am oberen Ende der beiden verticalen Säulen anzubringen und besteht dann ebenfalls gewöhnlich aus einer metallenen Hohlkugel, die mit den Reibzeugen in leitende Verbindung gesetzt werden kann. Die Fig. 295 stellt eine solche Scheibenmaschine dar, *GG* ist die Scheibe, *RR* sind die Reibzeuge mit den Tafftflügeln *TT*, + *C* ist der positive, — *C* der negative Conductor.

Cylindermaschinen nehmen bei gleicher Gröfse der reibenden Oberfläche weniger Raum ein als Scheibenmaschinen; dagegen kann bei ihnen aber auch nur die äufsere Glasfläche benutzt werden; ferner sind die Cylinder viel wohlfeiler als Scheiben und bei Weitem weniger leicht zerbrechlich, sie sind überhaupt auch in ihrer Construction einfacher; deswegen werden die Scheibenmaschinen den Cylindermaschinen vorgezogen.

Ueber die Haupttheile der Elektrisirmaschinen verdient aber noch insbesondere Folgendes bemerkt zu werden:

Der sich reibende Körper, also der Glascylinder oder die Scheibe, ist der, von dessen Individualität hauptsächlich die Wirksamkeit der Maschine, nämlich die Menge der zu erlangenden Elektricität, abhängt. Aus Erfahrungen hat sich nämlich ergeben, dafs nicht jede Glassorte hierzu gleich brauchbar ist. Das weifse, durchsichtige, harte, viel Kieselerde enthaltende, blasenfreie Glas hat sich immer am wirksamsten bewiesen; auch scheint eine nicht zu grofse Dicke des Glases vortheilhaft für die schnelle Entwickelung der Elektricität zu sein. Von der Beschaffenheit der Glasmasse mag es daher wohl auch hauptsächlich herrühren, dafs manche Elektrisirmaschinen eine so ungewöhnlich starke Wirksamkeit besitzen, wie dieſs z. B. bei einer von Pfister in Wien ausgeführten Scheibenmaschine mittlerer Gröfse (die Scheibe besteht aus 2 Linien dickem venetianischen Spiegelglase und hat nur 28 Par. Zoll Durchmesser) der Fall ist (s. Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. u. Mathem. III. 439).

Das Reibzeug ist ein nicht minder einflufsreicher Theil jeder Elektrisirmaschine, von dessen Beschaffenheit und Construction die Ergiebigkeit der Elektricität abhängt. Es besteht dasselbe zunächst aus einem, gewöhnlich mit Rofshaaren oder Metalldrehspänen ausgestopften Leinwandkissen von entsprechender Länge und Breite, welches auf einem dazu passenden Holze befestigt wird. Es soll durch die Elasticität dieses Kissens der nothwendige gleichförmige Anschlufs an die reibende Glasfläche erlangt werden, weshalb man gewöhnlich auch noch eine Metallfeder anwendet, welche gegen das Holz des Kissens drückt. Der Körper aber, an welchem eigentlich die Reibung des Glases vor sich geht und wodurch die neutrale Elektricität desselben am schnellsten und meisten zersetzt wird, ist das schon §. 487 seiner Zusammensetzung und Anfertigung nach beschriebene Kienmayer'sche Amalgam. Gewöhnlich wird dieses in möglichst fein gepulvertem Zustande, mit etwas Schweinefett zu einer Salbe angerieben, auf ein Stück weiches Leder gleichförmig aufgetragen, welches, an der einen Seite des Kissens befestigt, über dieses hinweggelegt wird, und an welchem zugleich der schon erwähnte Taffetflügel angenäht ist. Noch wirksamer aber wird, wie ich gefunden habe, ein Reibzeug, wenn man das Amalgam nicht erst auf Leder, sondern unmittelbar auf die obere Fläche des Kissens etwas stark aufträgt und dann [illegible] das seidene Zeug hinwegschlägt, so dafs die Glas- [illegible] unmittelbar das Amalgam berührt, sondern dieses [illegible] Menge das Gewebe des seidenen Zeugs [illegible] an diesem sich reibende Glas ein-

wirkt. Man erlangt dadurch zugleich den Vortheil, dafs
Amalgam wenig oder gar nicht an die Glasfläche a
kann, wodurch aufserdem die Elektricitätsentwickelu
vermindert wird. Ein Haupterfordernifs bei jedem Rei
ist aber noch, dafs die Fläche, auf welcher sich das A
befindet, eine möglichst vollkommene und schnelle A
der darauf frei gewordenen Elektricität erhalten kann,
chem Behufe man unter dieser Fläche ein der Gröfse d
entsprechendes Blatt Kupfer- oder Zinnfolie legen mu
welcher aus dann die Ableitung der freien Elektricität
Unterhaltung ihres Neutralitätszustandes erfolgt, was
Ausstopfung des Kissens mit Metallspänen überflüssig

Die Conductoren, bestimmt, die in den sich reiben
pern frei gewordene Elektricität aufzunehmen und zu s
müssen eine gut leitende Oberfläche besitzen und eine
zunehmenden Elektricitätsmenge entsprechende Gröfse
Am befsten werden sie von Messing- oder Kupferbl
fertigt, billiger, jedoch weniger vortheilhaft, können
aus Pappe oder Holz bestehen, wo sie dann noch mit
oder Silberpapier zu überziehen sind. Ihre zweckm
Form, wenigstens für den positiven Conductor, weil die
züglich gebraucht wird, ist die eines langen Cylinders.
die sich in ihm sammelnde Elektricität nicht so leich
Luft übergehen oder ausströmen könne, darf ein Conduct
scharfen Kanten oder Ecken, am allerwenigsten Spitzen
weshalb auch seine Enden halbkugelförmig abgerundet
(vergl. §. 487). Der mit dem positiven Conductor in Ver
stehende Zuleiter oder Sauger, welcher dazu bestimmt
Elektricität des Glases aufzunehmen und sie dem C
zuzuführen, wird dagegen vortheilhaft an der der Gl
zugekehrten Seite mit kurzen Spitzen besetzt. Die I
erfolgt, wie ebenfalls bereits bemerkt wurde, durch Gla
welche man, um jene noch vollkommener zu erlang
einer Schellackauflösung überziehen kann.

Als der Erfinder der Elektrisirmaschine wird gew
Otto v. Guericke bezeichnet. Der sogenannte ele
Körper seiner Maschine bestand aus einer Schwefelkug
che mittels einer Kurbel an der trockenen Hand gerieben
Später benutzte man statt der Schwefelkugeln solche v
dann Glascylinder und zuletzt die Scheiben. Die Erfindu
Anwendung des Reibzeugs durch Winkler war eine se
sentliche Vervollkommnung seiner Cylindermaschinen, un
die von Wilson zuerst eingeführten Conductoren beka
ihren dritten Haupttheil, wodurch diejenige Zusammen
entstand, welche auch jetzt noch als die wesentli
bezeichnen ist. Die wegen ihrer Gröfse und Wirk

besonders berühmt gewordene Elektrisirmaschine ist die nach van Marum's Angaben von Cuthberson für das Teyler'sche Museum zu Harlem ausgeführte. Es ist dieselbe eine Scheibenmaschine, welche aus zwei Glasscheiben von 65 engl. Zoll Durchmesser und 8 Reibkissen mit einem 23½ Quad. Fuss Oberfläche haltenden Conductor besteht, über deren Leistungen man Einiges in dem folgenden Paragraphen angeführt findet. Außer diesen hier beschriebenen gebräuchlichsten Elektrisirmaschinen sind aber auch noch viele andere, theils in der Form, theils in der Anwendung der Stoffe der sich reibenden Körper verschiedene Maschinen ausgeführt worden, worüber man, so wie über Alles, was auf diese wichtigen physikalischen Apparate Bezug hat, das ausführlichere Detail in den elektrischen Lehrbüchern von Cuthberson, Cavallo und Becquerel, so wie auch in dem Gehler'schen phys. Wrth. n. A. III. S. 413—456 und in Marbach's phys. Lex. II. B. 120—158 vorfindet.

§. 490.

Alle bereits früher (§. 494) angegebenen Wirkungen der elektrischen Spannung zeigen sich an einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisirmaschine weit deutlicher und in verstärktem Grade, als dieß bei den beschriebenen Fundamentalversuchen der Fall ist.

Sind die beiden Conductoren einer Maschine isolirt, so nehmen auch beide, sobald man die sich reibenden Körper in Bewegung versetzt, schon nach den ersten Umdrehungen eine starke elektrische Spannung an, die sich, gewöhnlich auf dem positiven Conductor angebrachten Quadrant-Elektrometer (s. E Fig. 204, 205.) zeigt; und zwar wird der mit dem Glase in Verbindung stehende Conductor positiv, der andere, mit dem Reibzeuge verbundene negativ elektrisch, warum man sich durch die schon bekannten Mittel leicht überzeugen kann. In diesem Spannungszustande ziehen dann beide Conductoren schon
oder weniger große Entfernungen leichte
Körper an und stoßen sie nachher wieder ab,

treten auch schon in beträchtlichen Entfernungen die Inductions-Wirkungen auf Elektroskope ein.

Bei der grofsen Van-Marum'schen Scheibenmaschine wurde ein 6 Fufs langer leinener Faden in einer Entfernung von 38 Fufs vom Conductor unten um 6 Zoll weit von der senkrechten Lage abgezogen, und die Kugeln eines Cavallo'schen Elektroskops zeigten schon in einer Entfernung von 40 Fufs eine Divergenz von ½ Zoll.

Während der Drehung der Maschine gewahrt man auch ganz deutlich die mit knisterndem Geräusch verbundenen Lichterscheinungen, welche in Lichtbüscheln oder Funken an denjenigen Theilen des Cylinders oder der Scheibe zum Vorschein kommen, die nicht vom Wachstaffet bedeckt sind.

Kommt man mit dem Gesichte in die Nähe der elektrisch gewordenen Körper, so ist das Gefühl, als würden Spinnenfäden über das Gesicht gezogen, ganz unverkennbar, und der ebenfalls als ein Kennzeichen freier Elektricität erwähnte eigenthümliche phosphorische Geruch verbreitet sich in kurzer Zeit, nachdem eine Elektrisirmaschine in Thätigkeit versetzt worden ist.

Befinden sich während des Gebrauchs einer Elektrisirmaschine ihre beiden Conductoren in isolirtem Zustande, so können sie auch nur so viel Elektricität erhalten, als von der, in dem Reibzeuge und dem Glase enthaltenen neutralen Elektricität durch das Reiben dieser Körper an einander zersetzt wird. In dem Mafse, wie die an die Conductoren übergegangene freie Elektricität abgeleitet oder in die Luft zerstreut wird, nimmt auch allmählig die Stärke der Spannung ihrer Elektricität ab. Will man daher von der Maschine fortwährend Elektricität erhalten, die sich im gröfstmöglichsten Spannungszustande befindet, so mufs der eine der sich reibenden Körper immer im neutralen Zustande erhalten werden. Dieser Zweck wird erreicht,

nn man denselben in leitende Verbindung mit dem Erd-
den setzt, und zwar mufs dieſs mit dem Reibzeug ge-
ehen, wenn man positive, mit dem positiven Conductor
r, wenn man negative Elektricität erhalten will. Am
öhnlichsten bedient man sich bei Versuchen der posi-
en Elektricität, und man erhält diese dann am kräftig-
n, wenn das Reibzeug durch eine recht gute Leitung,
i befsten durch Kupferstreifen oder dergleichen nicht
schwache Ketten, wo möglich mit einer grofsen Me-
lmasse, wozu Wasser-, Gas- oder Luftheizungsröhren
nz vorzüglich geeignet sind, verbunden wird.

Die in den Conductoren sich sammelnde Elektricität
nn dann durch Mittheilung auf zweierlei Art an andere
irper übergehen, und zwar entweder indem man den
irper, welcher die Elektricität empfangen soll, mit dem
nductor unmittelbar in leitende Verbindung setzt, oder
lem man ihn demselben nur bis auf eine gewisse Ent-
nung nähert. Im ersteren Falle geht die dem Conduc-
r zuströmende freie Elektricität unmittelbar und ohne
end eine wahrnehmbare Erscheinung an den mit ihm
Contact stehenden Körper über. Der Zustand, in den
se Körper dann versetzt werden, erfolgt nach den §. 487
klärten Mittheilungsgesetzen. Nichtleiter werden nämlich
r an der Berührungsstelle elektrisch, bei isolirten Lei-
n verbreitet sich die Elektricität über ihre ganze Ober-
che, und bei nicht isolirten fliefst die in sie übergehende
ektricität sogleich dem Erdkörper wieder zu, so dafs
der sie, noch der Conductor der Maschine eine Spur
ier Elektricität zeigen. Von dem hier Angeführten kann
n sich leicht durch folgende einfache Versuche über-
gen:

Erster Versuch. Berührt man mit einer bezeichneten
Stelle irgend eines Nichtleiters einen elektrischen Conductor,

so wird sich, wenn man diesen Nichtleiter an einem Elektroskope prüft, nur die berührte Stelle elektrisch zeigen.

Zweiter Versuch. Legt eine isolirt auf einem mit Glasfüfsen versehenen Brete, einem sogenannten Isolirschemel, stehende Person eine Hand auf den Conductor einer Elektrisirmaschine und wird diese nun in Thätigkeit versetzt, so zeigt sich jene Person als ein isolirter Elektricitätsleiter auf gleiche Weise elektrisch, wie der Conductor.

Dritter Versuch. Wenn man das Reibzeug mit der Erde in leitende Verbindung setzt und an den positiven Conductor eine Kette anhängt oder eine Hand anlegt, so wird, während man die Maschine dreht, der Conductor keine Spur freier Elektricität zeigen, was aber sofort stattfindet, sobald man die Hand wegnimmt oder die Kette abhängt.

Wird aber im andern Falle ein Körper dem im Zustande der elektrischen Spannung befindlichen Conductor allmählig genähert, so erfolgt schon vor der Berührung die Mittheilung der Elektricität unter Lichterscheinung, welche von einem Knistern oder einem Knall begleitet wird. Man nennt diese Lichterscheinung den elektrischen Funken, und die gröfste Entfernung, in welcher derselbe entsteht, die Schlagweite. Diese Art der Mittheilung erklärt sich aus der Inductions-Wirkung des Conductors auf den genäherten Körper. An den Stellen, wo sich beide am nächsten stehen, kommt nämlich mit wachsender Annäherung die Spannung der entgegengesetzten Elektricität auf einen solchen Grad der Stärke, dafs endlich der Leitungswiderstand der zwischen ihnen befindlichen Luftschicht überwunden wird, in welcher dann als Vereinigungsproduct der + und — Elektricität die Lichterscheinung entsteht. Die Gröfse der Schlagweite ist übrigens verschieden; sie wächst überhaupt mit der Gröfse der Spannung der Elektricität und mit der Schwäche des Leitungswiderstandes der Luft, weshalb sie auch in verdünnter Luft gröfser ausfällt; sie ist aber übrigens auch abhängig von der Form der einander zugekehrten Flächen. Sind diese eben, so müssen sie sich fast berühren, ehe die Mittheilung eintritt; sind sie

convex, wie bei Kugeln, so ist bei einem gröſseren Durchmesser der Funke kürzer, aber intensiver und stärker, als bei einem kleineren, und endigt sich ein Leiter oder beide in eine Spitze, so entsteht schon in beträchtlichen Entfernungen an den Spitzen ein Lichtschein, wodurch ein allmähliges Ausströmen und Neutralisiren der entgegengesetzten Elektricitäten bewirkt wird.

Von dem Allen kann man sich sehr leicht überzeugen, wenn man an dem Ende des positiven Conductors Kugeln von verschiedener Gröſse anbringt, und wenn die ihm genäherten Leiter ebenfalls Metallkugeln von verschiedenen Durchmessern sind. Eine wesentliche Verstärkung erhält man hierbei, sobald der genäherte Leiter mit dem Reibzeug in leitende Verbindung gesetzt wird. Eben so gewahrt man das hör- und sichtbare Ausströmen der Elektricität, wenn sich der Conductor in einer Spitze endigt, oder wenn man diesem eine solche nähert.

Bei der schon mehrmals erwähnten groſsen Elektrisirmaschine v. Marum's, wo sich der Conductor in eine vierzollige Kugel endigte, der genäherte Leiter aber eine zwölfzollige Kugel hatte, entstanden bei trockener Luft in 1 Minute 300 gegen 24 Zoll lange Funken von der Stärke eines Federkiels, die sich wie Blitze schlängelten und an ihren Ecken noch 6 bis 8 Zoll lange Strahlen ausschieſsen lieſsen.

Es dürfte hier der passendste Ort sein, noch einige der vorzüglichsten Regeln anzuführen, welche man zu befolgen hat, wenn man von einer sonst gut construirten Maschine die kräftigsten Wirkungen bei mit ihr anzustellenden Versuchen erhalten will.

An jeder Elektrisirmaschine, die längere Zeit unbenutzt gestanden hat, wird zunächst eine Reinigung [illegible] von Schmutz und Staub erforderlich. [illegible] nächst das alte Amalgam [illegible] ab und trage [illegible] cylinder [illegible] anhängende Amalgam, [illegible] freien Tuche [illegible] nem Spiritus. [illegible] zu fettig geworden sein, [illegible] An den [illegible] man [illegible] kommen [illegible] nirgends ein Fädchen oder ein [illegible]

darf, weil von diesen die Elektricität eben so wie von den Spitzen ausströmt. Eben so hat man auch alle Isolatoren der Elektrisirmaschine, nämlich die Glassäulen, zu reinigen, um die auf ihnen vorhandenen leitenden Ueberzüge zu entfernen. Endlich ist noch auf die schon angegebene Weise die leitende Verbindung mit der Erdoberfläche herzustellen, wobei hauptsächlich darauf zu sehen ist, dafs in der Leitung keine Unterbrechung stattfinde. Diefs würde das Wesentlichste sein, worauf man bei der Maschine selbst zu sehen hat; aufserdem aber hängt nun auch noch ihre Wirksamkeit von der Witterung oder der Beschaffenheit der Luft ab. Je trockener diese ist, desto wirksamer zeigt sich auch eine Elektrisirmaschine, was in der Regel bei Ost- oder Nordwinden oder hohem Barometerstande der Fall ist. Auch das Local, wo man elektrische Versuche anstellen will, mufs möglichst trocken, rauch- und dampffrei sein. Viele brennende Lichter und Lampen, so wie eine Ueberfüllung des Raums mit Menschen wirken daher stets schwächend ein. Aus sehr bekannten Ursachen mufs man auch alle spitze und eckige Gegenstände, ferner feine Fäden, Büschel u. dergl. aus der Nähe der Elektrisirmaschine entfernen. Eins der wirksamsten Unterstützungsmittel der Wirkung bleibt aber immer die Wärme, weshalb es am rathsamsten ist, eine zu gebrauchende Maschine im Winter immer so in der Nähe eines geheizten Ofens aufzustellen, dafs vorzüglich die sich reibenden Körper von der strahlenden Wärme getroffen werden; aufserdem aber zeigt sich hierzu ein durch Luftheizung erwärmtes Local am günstigsten, nicht allein, weil sich bei dieser Heizungsmethode die Wärme überall schnell und gleichmäfsig verbreitet, sondern vorzüglich auch deshalb, weil eine auf diese Weise erwärmte Luft sehr trocken ist.

C. Von den verschiedenen, auf der Inductions-Wirkung der Elektricität beruhenden Apparaten.

§. 491.

Wenn sich nun auch, wie wir gesehen haben, mittels der Elektrisirmaschine eine Menge Elektricität von ziemlich starker Spannung in den Conductoren ansammeln läfst, so kann diese doch keine beträchtliche Dichtheit erlangen, weil sie als freie Elektricität immer das Bestreben hat, sich zu neutralisiren, wozu sie auch durch die nicht vollkommen zu erlangende Isolirung stets mehr oder weniger

Gelegenheit findet. Will man daher die Elektricität verdichten, so ist es nöthig, sie in einen solchen Zustand zu versetzen, wodurch ihrem Bestreben, sich mit der entgegengesetzten Elektricität zu neutralisiren, Genüge geleistet wird, ohne dafs aber die Vereinigung wirklich vor sich gehen kann. Das Mittel, wodurch dieser Zweck erreichbar ist, besteht in der Inductions-Wirkung. Die freien ungleichartigen Elektricitäten wirken hierbei auf einander anziehend und sich gegenseitig bindend ein, ohne dafs jedoch ihre Vereinigung erfolgen kann, wodurch sich dann ihre Dichtigkeit und mit ihr in gleichem Verhältnifs auch ihre Spannkraft bis zu einer gewissen Grenze vermehrt.

Dafs diese Wirkung unter dem Einflusse der atmosphärischen Luft vor sich geht, und in welche eigenthümliche Zustände dabei der inducirte Körper versetzt wird, wurde bereits §. 488 bei der Erklärung der Inductionserscheinungen angeführt. Bei ihnen war es die zwischen beiden auf einander einwirkenden Körpern befindliche Luftschicht, welche als Nichtleiter die Vereinigung der sich anziehenden Elektricitäten verhinderte; dasselbe können aber auch andere Nichtleiter, wie z. B. Glas, Harz etc., bewirken, sobald diese nur eine solche Stärke oder Dicke besitzen, dafs die vertheilende Wirkung der vorhandenen freien Elektricität sie noch in gehörigem Mafse durchdringen kann. Es läfst sich hierdurch auf zwei flächenförmigen Leitern, welche durch einen solchen schwachen Nichtleiter von einander getrennt sind, Elektricität anhäufen, und zwar auf dem einen +, auf dem andern — Elektricität, die sich dann gegenseitig vermöge des zwischen ihnen befindlichen Nichtleiters im gebundenen und verdichteten Zustande erhalten. Ein solcher mit gebundener Elektricität gleichsam bedeckter Nichtleiter heifst dann **geladen**.

Durch folgenden von Pouillet angegebenen Fundame
Versuch kann man sich von der Bindung der Elektricität
möge ihrer vertheilenden Wirkung unter Vermittelung so
flächenförmigen Nichtleiter näher überzeugen. Der dazu
forderliche Apparat besteht aus einer dünnen Glasplatte
Fig. 296 (die aber auch von einer dünnen Harz- oder Schw
platte vertreten werden kann), welche auf beiden Seiten
auf einen Abstand von 1 bis 2 Zoll von ihrem Rande mit
niol *aa*, *bb* belegt wird. An jedem dieser leitenden Beleg
ein kleines elektrisches Pendel *cd* und *ef* befestigt, und *b*
ein mit einer Kugel versehener Draht, welcher als Zuleite
Elektricität dient.

Versuch. Sobald der Metallfläche *bb* durch den Zulei
z. B. vom + Conductor, Elektricität mitgetheilt wird, w
die beiden elektrischen Pendelchen *ef* und *cd* abgestofsen.
Pendel *ef* divergirt mit + Elektricität in Folge der auf de
fseren Seite der Metallfläche *bb* sich verbreitenden + Elektr
Die auf der am Glase befindlichen Metallseite sich verbrei
+ Elektricität wirkt vertheilend durch die Glastafel auf di
Metallbeleges *aa* ein. Es wird dadurch die neutrale El
cität (± Elektricität) desselben zerlegt, die ungleichna
hier also die — Elektricität, angezogen und gebunden, die g
namige, mithin die + Elektricität, aber abgestofsen, u
Folge dessen divergirt das Pendelchen *cd* ebenfalls mit +
tricität.

Berührt man das Metallbeleg *aa* ableitend, z. B. mit
Finger, so wird die freie + Elektricität mit — Elektricitä
sättigt, und die Platte *aa* kehrt in den Neutralitätszustan
rück, während der durch die + Elektricität des andern M
beleges *bb* gebundene Antheil — Elektricität an der Glas
unter *aa* haftet. Wird jetzt dem Metallbelege *bb* aberma
neuer Antheil + Elektricität zugeführt, so tritt dieselbe
theilende Wirkung und Erscheinung an dem Metallbeleg
ein, und so läfst sich durch wiederholte Berührung von *a*
Zuleitung von + Elektricität an *bb* so viele entgegengesetzte
tricität auf den beiden Glasflächen binden, als es der Leit
widerstand des Glases gegen das Bestreben der beiden El
citäten, sich zu vereinigen, gestattet, wo dann die Glastafe
geladen sein würde. — Zu demselben Resultate, aber s
ler, gelangt man, sobald das eine Metallbelege in neut
Zustande erhalten wird, während dem andern ununterbr
Elektricität zufliefst. Dieſs geschieht, wenn man z. B. *aa*
eine Kette *aL*, und *bb* mit dem Conductor, während di
schine in Thätigkeit erhalten wird, leitend verbindet.

Wird, nachdem die Glastafel auf diese Weise geladen w
ist, zuerst die Verbindung mit dem Conductor und dann di

dem Fufsboden aufgehoben, so bleibt das Pendel *cd* in Ruhe, während *ef* mit freier + Elektricität divergirt. Berührt man nun das Belege *bb*, so wird die freie + Elektricität neutralisirt und das an jenem befindliche Pendel fällt wieder, das *cd* des andern Beleges *aa* erhebt sich aber so, als wenn diesem neue Elektricität zugeführt worden wäre. Diese eintretende Abstofsung entspringt aus einer Quantität frei gewordener — Elektricität, welche der abgeleiteten + Elektricität des Beleges *bb* entspricht. Wird jetzt das Belege *aa* berührt, so fällt das Pendel *cd* nieder, und das *ef* des Beleges *bb* erhebt sich; wiederholt man diefs Verfahren abermals mit dem Belege *bb*, so tritt dasselbe Phänomen ein, und auf diese Weise wird die Glastafel nach und nach entladen, d. h. die gebunden gehaltene Elektricität wird allmählig neutralisirt.

Wendet man aber nach Unterbrechung der leitenden Verbindung beider Belege das vorher beschriebene Verfahren nicht an, so bemerkt man nach kurzer Zeit, dafs das mit freier + Elektricität divergirende Pendel des Beleges *bb* allmählig sinkt, während das des Beleges *aa* sich zu erheben beginnt, bis beide eine gleiche Divergenz angenommen haben; nachher aber sinken beide Pendel allmählig gleichförmig, bis sie ihre Metallplatten berühren, wodurch sich ebenfalls die eingetretene Entladung des Nichtleiters zu erkennen giebt. In diesem Falle wird die Entladung durch den stattfindenden Elektricitätsverlust an die Luft bewirkt (§. 487, S. 751), und es erfolgt diese um so langsamer, je trockener die Luft ist.

§. 492.

Auf dem im vorhergehenden Paragraphen erwähnten Principe der Bindung entgegengesetzter Elektricitäten beruhen die für die Elektricitätslehre so wichtigen Verstärkungs-Apparate, mittels deren man mehr oder weniger beträchtliche Mengen freier Elektricität von an sich hoher Spannung sammeln und verdichten kann. Es sind diefs nämlich die, hinsichtlich ihrer Form verschiedenen sogenannten Ladungs- oder Franklin'schen Tafeln und die Ladungs- oder Leidener-Flaschen.

Die Ladungstafeln bestehen gewöhnlich aus rechteckigen Glasscheiben, die auf beiden Seiten bis — einem Abstande von einem oder einigen Zollen — Rande mit Zinnfolie belegt sind.

Die Ladungsflaschen aber sind gewöhnlich Zuckergläser oder Glascylinder mit einem Boden, deren innere und äufsere Fläche gleichfalls mit Zinnfolie bis zu einigem Abstand vom Rande belegt wird. Um dem inneren Belege die anzusammelnde Elektricität zuführen zu können, stellt man in eine solche Flasche meist einen Metalldraht, der sich oben in eine Kugel, nach unten aber so endigt, dafs er den Boden der Flasche in mehren Puncten berührt. — Die Ladungsflaschen sind für den Gebrauch bequemer als die Ladungstafeln, auch weniger zerbrechlich als diese, weshalb man sich ihrer vorzugsweise zu elektrischen Versuchen bedient.

Um eine solche Flasche zu laden, führt man ihrem inneren Belege gewöhnlich die Elektricität des positiven Conductors zu. Dieſs geschieht, indem man den mit dem inneren Belege communicirenden Draht durch eine Kette oder dichte Drahtspirale mit dem Conductor verbindet und hierauf die Maschine in Bewegung setzt, oder indem man während der Thätigkeit der Maschine die Kugel der Flasche dem Conductor bis auf die Schlagweite nähert, wo dann durch das sich wiederholende Uebersprungen der Funken vom Conductor zur Kugel der Flasche die Ladung vor sich geht. Die auf solche Weise an das innere Belege übergehende Elektricität wirkt nun vertheilend durch das Glas, bindet die entgegengesetzte Elektricität des äufseren Beleges und stöfst die gleichnamige ab. Ist daher eine solche Flasche isolirt aufgestellt, so kann sie sich nur so viel laden, als das äufsere Belege entgegengesetzte Elektricität zur Bindung abgeben kann; steht dieselbe aber mit der Erde in leitender Verbindung, so wird die abgestofsene Elektricität ununterbrochen neutralisirt, und ihre Zerlegung und Bindung dauert so lange fort, bis die Intensität beider Elektricitäten (der + und — Elektricität) so weit gestiegen

ist, als es der Leitungswiderstand des Glases gegen das Bestreben der beiden Elektricitäten, sich zu vereinigen, gestattet.

Die Elektricitätsmenge, welche sich in einem solchen Ladungsapparate ansammeln läfst, zeigt sich bei gleicher Dicke und Beschaffenheit des Glases der Gröfse der Oberfläche der Metallbelege proportional; je dünner übrigens das Glas ist, oder je stärker vertheilend die Elektricität durch dasselbe wirkt, eine desto gröfsere Dichte nimmt die auf ihm sich sammelnde Elektricität an, oder desto intensiver wird die Ladung; jedoch kann dann auch oft ein Zerspringen oder Durchbohren des Glases eintreten, sobald nämlich der Leitungswiderstand desselben von der Spannkraft der verdichteten Elektricität überwunden wird. Will man daher mit beträchtlichen Elektricitätsmengen experimentiren, so mufs man sich sehr grofsflächiger Verstärkungs-Apparate bedienen, welche elektrische Batterieen heifsen. Gewöhnlich bestehen diese aus einer kleineren oder gröfseren Anzahl von Ladungsflaschen, von welchen sowohl das innere als auch das äufsere Belege in leitender Verbindung steht, so dafs eine solche Combination wie eine einzige grofse Flasche zu betrachten ist, deren belegte Oberfläche dem Metallbelege der ganzen Batterie gleich wäre. Die inneren Belege der Flaschen werden meist dadurch vereint, dafs man ihre einzelnen Zuleitungen unter einander durch Drähte verbindet. Die Verbindung der äufseren Belege aber wird erreicht, indem man sämmtliche Flaschen in einen Kasten stellt, dessen Boden mit Stanniol überzogen ist. Die Ladung einer Batterie erfolgt übrigens ganz auf dieselbe Weise, wie die einer einzelnen Flasche; es wird nämlich vom Conductor der Maschine eine dichte Drahtspirale nach einem der Zuleitungsdrähte des inneren Beleges geführt, das Bodenbelege des Kastens aber durch eine

Kette mit dem Fufsboden verbunden, und dann die Maschine so lange in Bewegung gesetzt, bis die Ladung das Maximum der Spannkraft erreicht hat. Es ist diefs schon daran kenntlich, wenn von den Zuleitern des inneren Beleges ein zischendes, im Dunkeln mit einem Lichtscheine verbundenes Geräusch ausgeht, oder es zeigt diefs auch der gewöhnlich auf dem Conductor befindliche Quadrant-Elektrometer dadurch an, dafs dessen Pendel einen Abstofswinkel von 90° und darüber erreicht.

Wird das äufsere und innere Belege einer geladenen Flasche oder Batterie durch einen guten Leiter in Verbindung gesetzt, so erfolgt die Vereinigung und Neutralisation der angehäuften und gebundenen + und — Elektricität in einem Augenblicke, wobei ein der Dichtheit der sich verbindenden Elektricitätsmengen entsprechender Funke und Knall entsteht, der die schlechtleitende Luftschicht durchbricht, sobald diese der elektrischen Spannung und anziehenden Kraft nicht mehr widerstehen kann. Diese elektrische Erscheinung nennt man die **Entladung**, und die gröfste Entfernung, in welcher diese zwischen der Kugel der Flasche oder Batterie und dem genäherten Leiter erfolgt, wird auch hier, wie bei den Conductorfunken, die **Schlagweite** genannt, die übrigens der Dichtheit der angehäuften Elektricitäten proportional ist.

Der Erfinder der Ladungsflaschen war (1745) **Kleist** (Dechant des Domcapitels zu Camin in Pommern). Die nach ihm benannten **Kleist'schen Flaschen** enthielten statt des inneren Beleges Wasser, und als äufseres Belege dienten die sie haltenden nassen Hände (s. **Gehler's** phys. Wrtb. n. A. IV. S. 395). Später kam statt des Wassers die zweckmäfsige Metallbelegung in Anwendung. Das innere Belege ersetzt man bisweilen auch dadurch, dafs man die Flasche entweder bis zur Höhe des äufseren Beleges mit Metallspänen anfüllt, oder die innere Glasfläche bis dahin mit einem Firnifs bestreicht und dann Metallfeilspäne darauf streut. Zur vollkommeneren Isolirung wird der frei bleibende Glasrand gewöhnlich noch mit einer Schellackauflösung bestrichen.

Was die elektrischen Batterieen anbelangt, die, wie schon bemerkt, eigentlich die Stelle sehr grofser Ladungsflaschen vertreten, so besitzen sie vor diesen den wesentlichen Vorzug, dafs man sie nach Belieben und Erfordern vergröfsern oder verkleinern kann, indem eine gröfsere oder kleinere Anzahl von Flaschen mit einander in Verbindung gesetzt werden, und dafs durch die Beschädigung einer Flasche nicht die ganze Batterie unbrauchbar wird, wie diefs bei einer grofsen Flasche immer der Fall ist. Ihre Gröfse ist und kann sehr verschieden sein, und wird nicht nach der Anzahl ihrer Flaschen, sondern nach der Flächengröfse ihres Beleges ausgedrückt. Die gröfsten bis jetzt bekannten Batterieen gehören zu der v. Marum'schen Scheibenmaschine (§. 489 S. 797). Die erste bestand aus 225 einzelnen Flaschen, jede von 1 Quad. Fufs Belege, welche in 15 Kasten gleich vertheilt waren; eine später ausgeführte enthielt 100 Flaschen, deren Belege aber 550 Quad. Fufs betrug, und die sich in 4 Kasten gleich vertheilt befanden (über die Wirkungen dieser Riesenbatterieen s. Gehler's phys. Wrtb. I. S. 947).

Bei schnell auf einander folgenden Versuchen mit Flaschen oder Batterieen schätzt man die Stärke ihrer Ladung nach der Anzahl der Umdrehungen der Maschine, das eigentliche Mafs für die Stärke der erlangten Ladung ist aber die Gröfse der Schlagweite. Um diese und zugleich auch die Wirksamkeit der Maschine zu messen, ferner auch noch, um wiederholte Ladungen von beliebiger und ganz gleicher Stärke erhalten zu können, dient Lane's Ladungsflasche oder dessen Funkenmesser. Es besteht derselbe aus einer gewöhnlichen Ladungsflasche von bestimmter Gröfse, z. B. von $\frac{1}{4}$ oder 1 Quad. Fufs Belege Fig. 297, deren Zuleitungsdraht *ab* noch einen Fortsatz *cde* erhält, wovon der horizontale Theil *dc* ein mit Schellack überzogener Glasstab ist, und der verticale, ein Messingdraht, bei *e* eine Hülse bekommt. In dieser läfst sich ein graduirter, bei *o* in einer Kugel sich endender Schieber bewegen, an welchen man dann den Abstand der beiden Kugeln und somit die Schlagweite messen kann. Soll dieser Funkenmesser seine Dienste leisten, so mufs das Ende *m* des Schiebers durch eine Kette mit dem äufseren Belege der Flasche verbunden und diese dann geladen werden. — Nimmt man eine sehr kleine Schlagweite an, d. h. wird die Kugel *o* der Kugel *b* sehr nahe gestellt, so erfolgt schon bei einer geringen Ladung die Vereinigung der + und — Elektricität des inneren und äufseren Beleges, indem die zwischen den Kugeln befindliche Luftschicht von einem Funken durchbrochen wird. Entfernt man die Kugeln weiter von einander, so mufs die Flasche eine stärkere Ladung erhalten, ehe ihre Entladung eintritt. Bleibt

aber die Entfernung beider Kugeln dieselbe, so wird die Entladung der Flasche immer dann eintreten, wenn sich dieselbe Menge Elektricität darin angehäuft hat. Will man zwei Maschinen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit mit diesem Funkenmesser prüfen, so wird die die stärkere sein, welche bei derselben Stellung der Kugeln nach weniger Drehungen die Entladung der Flasche bewirkt. — Riefs bedient sich dieses Apparats gewissermafsen als einer Mafseinheit, um die Stärke der Ladung einer Batterie zu bestimmen. Zu diesem Zwecke isolirt er die Batterie und setzt das äufsere Belege derselben mit der Kugel *b* einer Lane'schen Flasche, also mit ihrem inneren Belege in leitende Verbindung. Die Lane'sche Flasche wird in diesem Falle durch die von dem äufseren Belege der Batterie abgestofsene + Elektricität geladen. Die Anzahl der Entladungen dieser Flasche, welche während der Ladung der Batterie stattfinden, nimmt Riefs als das Mafs der Elektricitätsmenge an, welche die Batterie vom Conductor der Elektrisirmaschine empfing. Die Anzahl der Entladungen der Mafsflasche oder die Ladung der Batterie, durch die geladene Oberfläche dividirt, giebt dann die Dichte der angehäuften Elektricität (s. Dove's Repert. d. Phys. II. S. 6, 38).

Um die bei Ladung einer Flasche stattfindende Abstofsung der gleichnamigen Elektricität vom äufseren Belege sichtbar zu machen, dient folgender einfache Versuch.

Erster Versuch. Man bepudere eine Glasplatte oder einen Harzkuchen mit *semen lycopodii* und isolire das äufsere Belege einer Ladungsflasche dadurch, dafs man sie auf jene bepuderte Fläche stellt. — Bei jedem Funken, der dann von dem Conductor der Maschine auf die Kugel der Flasche überspringt, bemerkt man, dafs der auf der Harzfläche liegende Staub von der Peripherie des äufseren Beleges der Flasche strahlenförmig fortgestofsen wird.

Auf dieselbe Weise lassen sich auch mehre Flaschen durch eine einzige, mit dem Conductor der Maschine verbundene laden, indem die von dem äufseren Belege jeder einzelnen Flasche abgestofsene Elektricität die Ladung der nächstfolgenden bewirkt, sobald nämlich jede Flasche isolirt ist. Folgender Versuch wird diefs beweisen.

Zweiter Versuch. Man stelle die Flasche *A* Fig. 208 auf eine Glasscheibe oder Kautschuckplatte *a* so auf, dafs ihre Kugel ungefähr 1—1½ Zoll Abstand von der des Conductors oder eines mit ihm in Verbindung stehenden zweiten Leiters behält. Eben so isolire man auch die Flaschen *B* und *C* durch untergelegte Glasscheiben *b* und *c*, und nähere ihre Kugeln den äufseren Belegen, wie die Figur zeigt, bis auf eine Entfernung von etwa 1 Zoll; gegen das äufsere Belege der letzten Flasche *C*

aber wird ein nicht isolirter Leiter *D* (ein Draht mit Kugel) in gleicher Entfernung aufgestellt. — Bei dem Ueberspringen eines jeden Funkens vom Conductor der Maschine zur Kugel der Flasche *A* entsteht auch zwischen den äufseren Belegen und den Kugeln der übrigen Flaschen ein Funke durch die abgestofsene + Elektricität der Belege, und der Leiter *D* empfängt durch die gleichzeitig nach ihm überspringenden Funken die abgestofsene Elektricität des äufseren Beleges *C*, welche durch ihn der Erde zugeführt wird.

Gewöhnlich ladet man die Flaschen mit + Elektricität; will man sie aber negativ laden, so geschieht diefs, wenn die Maschine einen negativen Conductor hat, an diesem eben so, wie am positiven Conductor, in welchem Falle aber die Verbindung des Reibzeugs mit der Erde aufzuheben, dafür hingegen dieselbe mit dem positiven Conductor herzustellen ist. Aufserdem läfst sich jede Flasche auch an dem positiven Conductor negativ laden, wenn man sie an dem Zuleiter des inneren Beleges anfafst und die Funken vom Conductor auf das äufsere Belege leitet, oder es kann auch die Flasche isolirt, ihr äufseres Belege mit dem Conductor, das innere aber mit der Erde verbunden werden; in beiden Fällen häuft sich dann, wie ohne weitere Erklärung leicht einzusehen ist, die — Elektricität auf dem inneren Belege an.

Wenn vorher angeführt worden ist, dafs die Entladung einer Flasche oder Batterie mittels eines guten Leiters augenblicklich durch das Ueberschlagen eines starken Funkens stattfindet, so kann auch die Entladung allmählig durch eine unvollkommene Leitung vor sich gehen. Berührt man nämlich abwechselnd die Kugel und das äufsere Belege einer isolirten geladenen Flasche mit einem Leiter, so erhält man jedesmal einen kleinen lichtschwachen Funken von der freien Elektricität jedes Beleges, der nach und nach immer kleiner wird, bis die in beiden Belegen angehäuften Elektricitäten neutralisirt sind und die Flasche dadurch entladen ist. Eben so tritt in kurzer Zeit eine Entladung ein, wenn man dem inneren Belege oder der Kugel desselben eine Metallspitze oder ein Stück Zunderschwamm nähert. Dasselbe bewirkt endlich auch noch die Luft, und zwar um so schneller, je feuchter sie ist. Es ergeben sich hieraus schon von selbst die Vorsichtsmafsregeln, die man bei'm Experimentiren mit solchen geladenen Apparaten zu befolgen hat, um nicht einen zu grofsen Verlust der angesammelten Elektricität zu erleiden.

Sobald einem geladenen Verstärkungs-Apparate gleichzeitig verschiedene Leiter zur Entladung dargeboten werden, so vertheilt sie sich unter diese nach Mafsgabe ihrer Leitungsfähigkeit; daher kann man auch eine geladene Flasche mit beiden Händen entladen, ohne eine bemerkbare Wirkung zu verspüren,

wenn man eine Drahtspirale oder Kette zugleich in beide Hände nimmt und mit den zwischen den Fingern gehaltenen Enden die Entladung bewerkstelligt.

Bisweilen geschieht es auch, dafs während des Ladens einer Flasche oder Batterie diese sich von selbst entladen. Geschieht diefs durch das Glas hindurch, indem die entgegengesetzten Elektricitäten dasselbe an einer Stelle, die ihrer Spannkraft nicht widerstehen kann, durchbohren, was oft bei fehlerhaften Stellen im Glase eintritt, so ist eine solche Flasche nicht mehr brauchbar. Es kann aber auch die Entladung ohne Durchbohrung des Glases eintreten, indem die das äufsere und innere Belege trennende Luftschicht von einem Funken durchbrochen wird, was dann erfolgt, sobald diese Entfernung kleiner ist als die der Ladung entsprechende Schlagweite.

Um das Entladen von Flaschen und Batterieen zu den verschiedenen Versuchen leicht und sicher bewirken zu können, sind vorzüglich noch folgende Apparate erforderlich:

1.) Der gewöhnliche oder einfache Ausladen. In der Regel besteht derselbe aus einem gläsernen Handgriffe, an dessen einem Ende zwei gekrümmte Messingdrähte, die sich in Kugeln endigen, angebracht sind. Damit man diese einander beliebig nähern oder von einander entfernen könne, sind die Drähte durch ein Scharnier am Glasgriffe befestigt. Um damit eine Flasche zu entladen, wird die eine Kugel an das äufsere Belege angesetzt und dann die andere der Kugel der Flasche genähert; bei'm Entladen einer Batterie aber verbindet man den einen Arm des Ausladers mit einer, vom Belege des Kastens ausgehenden Kette, und nähert dann die Kugel des andern Arms einem der Zuleiter des inneren Beleges der Batterie.

2.) Der allgemeine oder Henly'sche Ausladen Fig. 299 ist ein Apparat, an welchem man den zwei durch Glassäulen isolirten Messingdrähten *ab* eine beliebig feste Stellung und Entfernung von einander geben kann, um die Entladung durch irgend einen auf dem verstellbaren Tischchen *t* befindlichen Körper leiten zu können. Die Enden *b* der Drähte sind gewöhnlich ringförmig gebogen, um Ketten einzuhängen, die *a* aber verlaufen sich in durchbohrte Spitzen, über welche kleine Kugeln geschraubt werden können. Um eine Flasche oder Batterie damit zu entladen, wird in dem einen der Ringe *b* eine Kette eingehangen, die mit dem äufseren Belege verbunden ist; den zweiten Ring *b* verbindet man ebenfalls durch eine Kette mit einem Arme des gewöhnlichen Ausladers, und nähert diesen nun dem inneren Belege der Flasche oder Batterie.

Nach einer solchen Entladung findet sich aber immer noch ein mehr oder weniger beträchtlicher Rückstand von Elektricität

in der Flasche oder Batterie vor, den man erst durch wiederholte Entladungen völlig entfernen kann, weil ein Theil der sich bindenden Elektricitäten an der Oberfläche des Glases haften bleibt. Riefs fand durch messende Versuche, dafs die durch die erste Entladung verschwindende Elektricitätsmenge $\frac{1}{4}$ der ganzen Ladung beträgt.

In neuerer Zeit sind vorzüglich Faraday und Riefs bemüht gewesen, durch genaue Versuche die verschiedenen Eigenschaften und Wirkungen der elektrischen Entladungen zu untersuchen, wobei der letztgenannte Physiker zugleich das Gesetzliche dabei zu bestimmen suchte (s. Dove's Repert. d. Phys. II. 36—44, VI. 152—176 und Poggendorf's Annal. XL. 321—354, LIII. 1—20).

§. 493.

Die Entladung einer Flasche oder Batterie ist der Augenblick, wo die in ihrem primitiven Thätigkeitszustande befindliche elektrische Kraft aus dem Zustande der Spannung in ihren secundären, den elektrischen Strom übergeht (§. 478). Das Gleichgewicht, welches zwischen der in beiden Belegen angehäuften $\pm$ Elektricität bestand, wird aufgehoben, beide Elektricitäten kommen in Bewegung, und während dieser geht der Act ihrer Vereinigung oder Neutralisation vor sich. Es erfolgt diese elektrische Action längs des Leiters, welcher die beiden Belege verbindet, und zwar beginnt die Bewegung der $\pm$ Elektricität, wie neuestens Wheatstone durch ein höchst sinnreiches Verfahren aufser allen Zweifel gesetzt hat, von beiden Belegen gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung. Sonach finden stets zwei einander entgegenlaufende Ströme statt, wovon der, welcher vom positiven Belege ausgeht, der positive, der vom negativen Belege ausgehende der negative genannt wird. Da es aber oft unbequem ist, von beiden Strömen zu reden, sobald man sich blos auf die Betrachtung eines derselben beschränkt, so wird jetzt allgemein angenommen, dafs, wenn vom elektrischen Strome

ohne Beisatz gesprochen wird, immer nur der positi darunter zu verstehen ist.

Diese Strömung oder Fortpflanzung der Neutralisati ist aber von so kurzer Dauer, dafs man sie als momentan bezeichnet, und nur erst seit Kurzem haben wir durch Wheatstone's Versuche ein annäherndes Mafs für ih Zeitdauer erhalten, da sich aus jenen ergab, dafs in einem Kupferdrahte diese Fortpflanzung mit einer Geschwindigkeit von 288000 englischen Meilen in einer Secunde vor sich geht.

Auf dem durchlaufenen Wege und während der fa unmefsbaren Zeitdauer entspringen nun aus der Neutralisation der ± Elektricität in allen den Körpern, welche di Kette des Leiters bilden, die verschiedenen Wirkungen welche den elektrischen Strom charakterisiren und deren schon früher (§. 481) im Allgemeinen Erwähnung geschah.

Finden in der, dem Strome dargebotenen Leitung ein oder mehre Unterbrechungen statt, so entsteht an jeder Unterbrechungstelle ein Funke. Es bezeichnet uns derselbe den Weg des Stromes unter Licht- und Wärme-Erscheinung. Das Licht ist meist weifs und dann höchst intensiv, bisweilen aber auch verschieden gefärbt, unter allen Umständen aber von einer nur durch Rechnung annähernd bestimmbaren Zeitdauer, da diese noch nicht den millionsten Theil einer Secunde beträgt. Dafs mit diesem Lichte zugleich aber auch freie Wärme verbunden ist, müssen wir daraus schliefsen, weil der Funke auf seinem Wege Körper entzündet, die hierzu eine bedeutende Temperaturerhöhung fordern.

Befinden sich in der Leitungskette andere Nichtleiter, als die atmosphärische Luft, eingeschaltet, und ist der Leitungswiderstand derselben der Vereinigungskraft der ± Elektricität nicht gewachsen, so werden diese ebenfalls, wie die

on dem elektrischen Funken durchbohrt, wobei eine he Ausdehnung oder selbst Zerreifsung der Körper , welche der elektrische Strom durchdringt. — Es ns hierbei mithin der elektrische Funke im Kleinen ı Phänomen, welches der Blitz im Grofsen bei'm chen Proceſs der Atmosphäre bewirkt.

ıtralisiren sich die $\pm$ Elektricitäten in Leitern, die ktricitätsmengen einen unwesentlichen Leitungswider- ıtgegensetzen, so verschwinden sie als 0 Elektricität eichen von Licht- und Wärmeentwickelung. Ist da- der Leitungswiderstand oder die Verzögerungskraft ters für die Quantität der $\pm$ Elektricität, die sich in ıtralisiren soll, zu grofs, so wird seine Temperatur und zwar um so mehr, je beträchtlicher der Leit- lerstand ist, so dafs sich die Erwärmung bis zum n, bis zum Schmelzen, ja selbst bis zum Verflüch- r strengflüssigsten Körper steigert.

ıe andere, rein physikalische Eigenschaft, welche ;trische Strom besitzt, ist seine magnetische Wirk- , indem derselbe nämlich während seiner Dauer eine gewisse Entfernung um ihn rundum nach ge- Gesetzen attractiv und repulsiv auf Magnete ein- in Leitern den magnetischen Neutralitätszustand auf- d sich dann theils anziehend, theils abstofsend gegen g zeigt. Da aber, wie schon erwähnt, diese Wirk- einen Augenblick dauert, so treten die magnetischen ungen des momentanen Stroms auch nicht so chan- tisch auf, als bei den continuirlichen Strömen der nge-Elektricität, weshalb diese Eigenschaft hier nur constante Thatsache bemerkt werden sollte, wo ber das Nähere hierüber in dem Abschnitte, wo n elektromagnetischen Erscheinungen gehandelt wi rt werden wird.

Ganz besonders charakterisirt sich der momentane elektrische Strom auch noch durch seine physiologischen Wirkungen, sobald ein lebender thierischer Körper in den Schliefsungskreis des Stroms eingeschaltet wird. Es treten dann nämlich in dem Augenblicke des Durchströmens mehr oder weniger heftige Nervenerschütterungen und Muskelcontractionen ein, die selbst auch an getödteten Thieren noch eine Zeit lang wahrnehmbar bleiben.

Geht ein elektrischer Strom durch unvollkommene, namentlich durch nasse Leiter, z. B. durch Wasser, so verändert sich seine Wirksamkeit auf besondere Weise. Der bei der Entladung einer Flasche dann entstehende Funke ist kurz, lichtschwach, gewöhnlich violett und kaum hörbar. Befindet sich der menschliche Körper im Schliefsungskreise, so bewirkt der Strom keine Erschütterung, sondern eine stechende Empfindung; besonders merkwürdig aber ist es, dafs nur ein solcher Strom Schiefspulver entzündet, während diefs bei den durch gute Leiter gegangenen nicht der Fall ist.

Endlich beweisen sich diese Ströme auch noch chemisch wirksam, indem sie leicht zersetzbare Körper in ihre Bestandtheile zerlegen, sobald sie durch eine Lösung derselben hindurchgehen. Es sind diese Wirkungen jedoch nur sehr unbedeutend, da chemische Zerlegungen eine Continuität des Stroms fordern, die man hierbei blos annähernd dadurch erlangen kann, dafs man in schneller Folge eine Reihe von Funken oder Entladungen durch die Flüssigkeit gehen läfst.

Zur Bestätigung dieser angeführten Erscheinungen und Wirkungen sollen später noch (§. 496—505) die hauptsächlichsten Versuche zusammengestellt werden.

Bei den oben erwähnten wichtigen Versuchen Wheatstone's fand derselbe, dafs bei der Entladung einer Leidener-Flasche durch einen langen Kupferdraht, an welchem sowohl zunächst den beiden Belegen als auch in der Mitte eine Unterbrechung

stattfand, die Funken an den Enden gleichzeitig, der in der Mitte dagegen etwas später erschien. Hieraus ergab sich zunächst, dafs zu gleicher Zeit von beiden Belegen ein elektrischer Strom ausgeht, welche beide sich etwas später in der Mitte des Drahts vereinen. Das sinnreiche Verfahren, welches Wheatstone dabei anwendete, gab ihm zugleich das Mittel an die Hand, die Geschwindigkeit dieser Bewegung zu berechnen, so wie auch annähernd die Zeitdauer des elektrischen Lichts zu bestimmen. Bei dem zu diesem Versuche dienenden Apparate standen nämlich die Unterbrechungsstellen des Leitungsdrahtes, an denen die Zeitmomente des Entladungsfunkens beobachtet werden sollten, so in einer geraden Linie, dafs die in der Mitte des Drahts befindliche Unterbrechung mitten zwischen den beiden andern lag, und in einem kleinen metallenen Planspiegel, der sich um eine, zu dieser Linie parallele Axe schnell drehen liefs, konnten die drei Lichtblitze beobachtet werden. Da aber das Bild eines Gegenstandes, welches man in einem Spiegel erblickt, sich verschiebt, sobald sich letzterer um eine solche Axe dreht, so mufsten auch die drei Funken bei einer schnellen Rotation des Spiegels als drei parallele Linien erscheinen, welche, im Fall ein auf diese Weise bemerkbarer Unterschied in der Zeit ihres Entstehens stattfand, auf ungleichen Punkten anfangen und enden mufsten. Dabei ergab sich nun das wichtige Resultat, dafs die Linien bei einer geringen Rotationsgeschwindigkeit an gleichliegenden Stellen des Spiegels anfingen, nämlich eine solche Lage: ═══ zu einander zeigten, dafs sie aber, wenn die Geschwindigkeit bis zu einem gewissen Grade vermehrt wurde, auf folgende Weise dargestellt waren: ═══, wenn der Spiegel rechts, und ═══, wenn er links gedreht wurde; dagegen kamen sie nie so ═══ zu stehen, wie es hätte geschehen müssen, wenn der elektrische Strom nur von einem Ende aus nach dem andern mit einem successiven Zeitunterschiede für jeden Funken fortgegangen wäre. Hieraus zog Wheatstone den Schlufs, dafs man diese Erscheinung nicht aus der Fortbewegung eines einzigen Fluidums erklären könne, sondern dafs man zweie annehmen müsse, welche ohne bemerkbaren Zeitunterschied in die Enden des Leiters übergehen, aber eine mefsbare Zeit bedürfen, um sich auf halbem Wege zu begegnen. Da ferner nach katoptrischen Gesetzen (§. 296, 3, S. 399) das Bild eines Gegenstandes in einem sich drehenden Spiegel die doppelte Winkelgeschwindigkeit des letzteren hat, so folgt, dafs, wenn z. B. der Spiegel in 1 Secunde a Umläufe machte, das Bild des Funkens, wenn er 1 Secunde dauerte, $2a$ 360° durchlaufen würde. Entspräche also das Bild eines solchen Funkens einem Bogen von b Graden, so würde dann seine

Lichtdauer $\frac{b}{720\,a}$ Secunde betragen haben. Bei einer Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels von 800 Umläufen in der Secunde erscheinen dem dicht an diesem befindlichen Auge die in einer Entfernung von 10 Fufs von ihm entstehenden Funken als Bögen von nicht ganz $\frac{1}{4}$ Grad Länge. In diesem Falle ist also der Funkenbogen b noch geringer als $\frac{1}{2}$ Grad, und da $a = 800$ war, so mufste die Dauer jener Funken kleiner als $\frac{\frac{1}{2}}{720\,.\,800}$ sein, oder weniger als 0,00000087 Secunde betragen. — Von dieser instantanen, zugleich aber auch höchst intensiven Wirkung des elektrischen Entladungsfunkens kann man sich noch überzeugen, wenn man bei'm Lichte eines solchen eine gemalte Scheibe betrachtet, die mit so grofser Schnelligkeit rotirt, dafs die Bilder darauf bei gewöhnlichem Lichte nicht sichtbar sein würden, weil die Eindrücke derselben sich im Auge vermischen (§. 352). Eine solche Scheibe erscheint dann stillstehend, und die darauf gemalten Gegenstände erblickt man in ihrer richtigen Form und Lage; auf einer rotirenden Newton'schen Farbenspindel (§. 329) sieht man die einzelnen Sectoren in ihren Grundfarben; schwingende Saiten scheinen in ihrer gebogenen Stellung zu ruhen; und eine Reihe von Tropfen, welche das Auge gewöhnlich als einen zusammenhängenden Strahl wahrnimmt, stellen sich als eine Folge getrennter Tropfen dar, weil der Eindruck aller dieser Bilder nur eine so kurze Zeit dauert, dafs die Stellung der in Bewegung sich befindenden Körper dabei nicht verändert wird. Durch folgenden einfachen Versuch erhält man die Bestätigung des eben Angeführten.

Versuch. Die beiden Kugeln eines allgemeinen Ausladers *aa* Fig. 299 stelle man ungefähr 1 Zoll weit auseinander und verbinde den einen Draht durch eine Kette mit dem Conductor der Maschine, während von dem andern eine Kette auf den Boden herabhängt. Sobald die Maschine gedreht wird, springen zwischen den beiden Kugeln in kleinen Zeitintervallen die intensiven Lichtfunken über. Statt des Ausladers kann auf gleiche Weise auch eine kleine Lane'sche Flasche angewendet werden, bei der die Funken dann noch intensiver ausfallen. — Wird nun während dieser periodischen Erleuchtung in die Nähe der Ausladungsstelle eine schnell rotirende Farbenspindel oder Zauberscheibe, oder eine, in Schwingungen versetzte Drahtspirale Fig. 136 Tab. V gehalten, so gewahrt man bei jedem überspringenden Funken die angeführte Erscheinung ganz deutlich.

Die Länge des Drahtes, welchen bei dem Wheatstone'schen Apparate der elektrische Strom zu durchlaufen hatte, betrug $\frac{1}{7}$ englische Meile; mithin brauchte derselbe, um den halben

Weg von ½ Meile zurückzulegen, nach der oben angegebenen Zeitdauer ungefähr 0,0000087 Secunde, woraus sich ergiebt, dafs seine Geschwindigkeit in 1 Secunde gegen $\frac{\frac{1}{2}}{0,0000087}$ oder 288000 englische (circa 63000 geogr.) Meilen betragen mufs.

Wheatstone veröffentlichte diese seine wichtige Entdeckung 1835 in einer in der Royal Institution gehaltenen Vorlesung, und genau mit allen Details beschrieben findet man die Versuche und dabei gebrauchten Apparate in Poggendorf's Annal. XXXIV. S. 464, und in Dove's Repert. d. Phys. II. S. 16.

§. 494.

Ein zweiter elektrischer Verstärkungs-Apparat, der eben so wie die Ladungsflasche auf der Inductionswirkung und Bindung der Elektricität beruht, ist der Condensator oder Verdichter. Dieses Instrument ist dazu bestimmt, die Anwesenheit und Art der Elektricität solcher Körper zu erkennen, in denen dieselbe von so geringer Intensität vorhanden ist, dafs sie unmittelbar selbst die empfindlichsten Elektroskope nicht afficirt, sondern erst gesammelt und verdichtet werden mufs, um den Grad der Spannung zu erhalten, wodurch die elektroskopischen Körper zur Divergenz kommen.

Es besteht derselbe aus zwei kreisförmigen Metallplatten von Kupfer oder Messing *cc*, *bb* Fig. 300, deren auf einander liegende Flächen vollkommen eben geschliffen und durch einen ganz schwachen Nichtleiter getrennt sein müssen. Als solchen benutzt man entweder eine zwischen beiden Platten befindliche dünne Luftschicht, die dadurch erzeugt wird, dafs man auf eine der Platten in der Nähe ihrer Peripherie drei kleine Siegellacktröpfchen ungefähr in gleichem Abstande von einander anbringt, oder man überzieht beide Flächen mit einer dünnen, ganz gleichmäfsig zu vertheilenden Firnifsschicht, wozu Pfaff den Bernsteinfirnifs als vorzüglich empfiehlt, da sich dieser weniger leicht als andere Firnisse abreibt und sehr gut isolirt.

Die obere Platte *c* heifst der Deckel oder Collector, d
untere *b* die Basis. Beide Platten sind mit Glassäul
m, *n* versehen, so dafs man den Collector mittels des Gla
stieles *m* isolirt von der Basis trennen kann. Um die B
sis mit der Erde in leitende Verbindung setzen zu könne
ist an der Seite derselben ein Draht mit einem polirt
Kügelchen *a* angebracht. — Statt des Metalls kann m
auch einen Halbleiter, z. B. weifsen Marmor oder trock
nes polirtes Holz, als Basis anwenden, wo dann der Co
lector nicht gefirnifst zu sein braucht und die leitende Ve
bindung der Basis mit der Erde entbehrlich wird; solc
Instrumente leisten aber weniger als die vorher angegeben

Der Gebrauch dieses Apparats ist nun folgender: D
Körper, dessen Elektricität man sammeln oder untersuch
will, bringt man auf den Collector *c* oder mit ihm in l
tende Verbindung. Während dessen berührt man die Kugel
mit dem Finger. Die auf diese Weise an den Collec
übergehende Elektricität wirkt nun vertheilend durch d
dünnen Nichtleiter auf die Basis ein und bindet in die
die ihr entgegengesetzte Elektricität, während die glei
namige abgestofsen wird. Da aber die Basis durch
Berührung in leitende Verbindung mit der Erde kom
so wird dieser immer wieder neutrale Elektricität zugefü
welche dieselbe Zerlegung erleidet. Dieses dauert so la
fort, bis der Condensator die, seiner Fläche entsprechen
vollständige Ladung angenommen hat. Wird nun der C
lector mittels seiner Glassäule *m* rasch und parallel zur B
sis in die Höhe gehoben, so werden die gebundenen El
tricitäten wieder frei. Im Collector hat sich dann
Elektricität des zu untersuchenden Körpers, in der Ba
die entgegengesetzte angehäuft. Bringt man jetzt den C
lector an ein empfindliches Elektrometer oder Elektrosk
so zeigen diese nun die gesammelte Elektricität an.

Am bequemsten ist es aber jedenfalls, wenn die Basis unmittelbar auf den Zuleiter eines empfindlichen Elektrometers (z. B. eines Bennet'schen, Oerstedt'schen oder Becquerel'schen §. 485) aufgeschraubt wird, wo sich an die Art des Verfahrens bei'm Gebrauche etwas ändert. Man bringt nämlich alsdann den zu prüfenden Körper mit der unteren Platte *b* Fig. 288 in Berührung, welcher zu diesem Zwecke der kleine Metallstiel mit Kugel *a* angebracht ist, den Deckel aber setzt man durch Auflegung eines Fingers in leitende Verbindung mit dem Erdboden. Nachdem der elektrische Körper die erforderliche Zeit mit der Kugel *a* in Berührung gewesen ist, wird derselbe entfernt und hierauf der Deckel *c* an seinem Glasstiele aufgehoben, worauf der Elektrometer unmittelbar die in der unteren Platte *b* frei werdende Elektricität anzeigt. Es ergiebt sich mithin, dafs in diesem Falle der Apparat gerade umgekehrt, wie bei dem vorher beschriebenen Verfahren, gebraucht wird, indem nämlich die untere Platte als Collector, die obere dagegen als Basis dient; doch kann man auch letztere mit dem zu prüfenden Körper in Berührung bringen und die untere ableitend berühren, wo dann aber, wie leicht einzusehen, der Elektrometer entgegengesetzte Elektricität anzeigen mufs.

Obschon in den meisten Fällen die Anwendung eines solchen einfachen Condensators ausreicht, um freie Elektricität hinlänglich zu condensiren oder ihr die erforderliche Spannung zu ertheilen, so ist dieſs jedoch nicht immer der Fall. Dann mufs man sich noch eines zweiten Condensators mit kleineren Platten bedienen, auf den man die im gröfseren Condensator bereits gesammelte Elektricität überträgt und dadurch noch mehr verdichtet. Dieser, ursprünglich von Cuthberson angegebene doppelte Condensator hat neuerdings von Peclet folgende veränderte und einfache Einrichtung erhalten. Es besteht derselbe aus drei Kreisscheiben von Spiegelglas, deren ganze Oberfläche mit ächtem Blattgold überzogen ist. Die unterste, die wir *a* nennen wollen, ist auf dem Zuleiter eines Elektrometers befestigt und ihre obere Fläche mit einem isolirenden Firnifs

überzogen. Die zweite Scheibe *b* liegt auf jener und ist auf beiden Flächen gefirnifst. Ein kleiner vergoldeter Messingstiel ist an einem Puncte ihrer Peripherie angebracht, und in der Mitte hat sie, wie eine gewöhnliche Collectorplatte, einen Glasstiel. Die auf diese zweite Scheibe zu liegen kommende dritte *c* ist blos an ihrer Unterseite gefirnifst und in ihrer durchbohrten Mitte mit einer Glasröhre versehen, welche den Glasstiel von *b* umschliefst, aber ein Stück kürzer als dieser ist. Diese Zusammenstellung dient in folgender Art zu wiederholter Condensation: Man bringt den auf freie Elektricität zu prüfenden Körper an die obere Platte *c*, während man die mittelste *b* ableitend berührt, hebt alsdann *c* ab und berührt die unterste Platte *a* ableitend. Die Platte *c* wird dann wieder aufgesetzt, abermals mit dem zu prüfenden Körper berührt und das frühere Verfahren wiederholt, bis zuletzt mittels des Glasstiels die Platten *b* und *c* zugleich abgehoben werden, wodurch die ganze, in der untersten Platte angesammelte Elektricität frei wird und sich durch die Divergenz der elektroskopischen Körper zu erkennen giebt. (S. Annal. de Chim. et de Phys. LVIII. S. 442, Poggendorf's Annal. XLVI. S. 443, und Dove's Repert. d. Phys. VI. S. 301.) — Da man jetzt auf so einfache und wohlfeile Art Messing- und Kupferplatten galvanisch vergolden oder chemisch verplatiniren kann (s. Böttger's Beitr. z. Phys. u. Chem. Hft. II. S. 108), so dürfte es aus mehren Gründen vortheilhaft sein, statt der Glasscheiben vergoldete oder verplatinirte Messingscheiben anzuwenden.

Volta war 1783 der Erfinder dieses elektrischen Apparats, welcher besonders dadurch so wichtig geworden ist, dafs man seit seinem Gebrauche an sich blos berührenden Körpern, so wie bei mehren chemischen und atmosphärischen Processen das Auftreten freier Elektricität nachweisen konnte, was mit den früheren Mitteln nicht zu erlangen war.

Ausführlichere Abhandlungen über die verschiedenen Arten dieser Instrumente findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. S. 227—248, und in Marbach's phys. Lex. I. S. 410—421, so wie mehre zu beachtende Notizen in Pfaff's Revision der Lehre vom Galvano-Voltaismus S. 14.

§. 495.

Der Elektrophor ist ebenfalls ein von Volta (17[illegible]75) zuerst angegebener elektrischer Apparat, der die Einrichtung besitzt, die in einem Nichtleiter durch Reibung erregte elektrische Spannung in Folge ihrer vertheilenden W[illegible]

ge zu behalten, weshalb er auch den Namen
ır Elektricitätsträger erhalten hat.

ht aus zwei wesentlichen Haupttheilen, näm-
m gewöhnlich kreisrunden, möglichst ebenen
b Fig. 301, der in eine gut leitende Form,
, gegossen wird, und aus einem etwas kleine-
a. Kuchen und Teller bilden die sogenannte
lektrophors, und der Deckel, welcher eben-
nmen eben, am Rande abgerundet und auch
iter, z. B. eine Metallplatte, sein muſs, kann
ıer Schnüre oder einer Glassäule *g* isolirt auf
chen gesetzt und abgehoben werden. Soll
Apparat in Wirksamkeit kommen, so ist er
Weise zu behandeln. Der Harzkuchen ist
eil, in welchem der neutrale Elektricitätszustand
Peitschen mit einem erwärmten Fuchsschwanz
elz aufgehoben wird. Sobald dieſs geschehen,
fläche des Kuchens negativ elektrisch. Diese
cität wirkt jetzt vertheilend durch die Harz-
diese nicht zu dick, höchstens ½ Zoll stark
det den, ihrer anziehenden Kraft entsprechen-
von + Elektricität auf der entgegengesetzten
rch sich beide — und + Elektricitäten sehr
ıte, ja selbst Jahre, gebunden erhalten kön-
be vertheilende Wirkung erfolgt auch in dem
bald dieser auf die Harzfläche gestellt wird.
ustande zeigt dann ein Elektrophor folgende
m:

h. 1.) Berührt man den, auf die Harzfläche ge-
kel mit einem Finger, so erhält man von diesem
n Funken. Es ist dieſs die durch die vertheilende
s Kuchens angezogene — Elektricität. Die + Elek-
Deckeln wird dagegen von der — Elektricität da
nden gehalten.

2.) Dasselbe geschieht, wenn man die Basis isolirt, den Kuchen peitscht und nun die Form berührt. — In diesem Falle ist es die + Elektricität der Form, welche durch die vertheilende Wirkung der unteren Harzfläche frei wurde.

3.) Wird der Deckel, nachdem ihm durch Berührung seine freie — Elektricität abgeleitet worden, isolirt aufgehoben, so giebt er abermals einen Funken. — Jetzt wurde die vorher vom Harze gebundene + Elektricität frei.

4.) Hebt man aber den Deckel isolirt von der Harzfläche ab, ohne ihn berührt zu haben, so zeigt er sich bei Vollkommenheit des Apparats unelektrisch. — Nach der Entfernung von dem vertheilend wirkenden Harze neutralisiren sich nämlich die vorher getrennten + und — Elektricitäten.

5.) Berührt man nach aufgesetztem Deckel erst mit dem Daumen den Teller und dann mit einem andern Finger der Hand den Deckel, so verspürt man in letzterer eine kleine Erschütterung. — Bei dieser Berührung neutralisirt sich nämlich die abgestofsene — Elektricität des Deckels mit der + Elektricität des Tellers in der Hand. Hebt man jetzt den Deckel isolirt in die Höhe, so giebt er seine gebunden gewesene + Elektricität durch einen Funken ab.

Von diesem Freiwerden der entgegengesetzten Elektricitäten kann man sich leicht mittels eines Becquerel'schen Elektroskops überzeugen, wenn man jede der zu prüfenden Elektricitäten durch eine Probescheibe an diesen überträgt.

Aus dem Allen ersieht man, dafs sich ein Elektrophor ganz wie eine Franklin'sche Tafel (§. 492) verhält, und daher kann man ihn auch ganz wie jene laden, indem man z. B. dem Deckel — Elektricität zuleitet, wodurch diese nachher an der Oberfläche des Harzes eben so, wie die durch Reibung hervorgebrachte, haften bleibt.

Elektrophore können auch die Stelle kleiner Elektrisirmaschinen vertreten, indem man aus dem, vom Kuchen nach dem Berühren abgehobenen Deckel ganz wie aus dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine Funken ziehen kann, und zwar immer auf's Neue nach jedesmaligem Wiederaufsetzen, Berühren und Abheben. Um aber hierbei das sich wiederholende Berühren der Form und des Deckels zu vermeiden, legt man ein Streifchen Stanniol auf den Kuchen, welches sich an die Form anschliefst und

im jedesmaligen Aufsetzen des Deckels die Vereinigung r freien + Elektricität der Form mit der — Elektricität s Deckels vermittelt. Dafs dadurch die Elektricität des arzes nicht abgeleitet und geschwächt wird, erklärt sich raus, dafs diese nicht mittheilend, sondern nur ver-heilend auf die stets neutrale Elektricität des Deckels wirkt.

Die Wirksamkeit der Elektrophore hängt von der Gröfse ires Kuchens, von dessen Härte, Dichte und Glätte, von dem genauen Aufliegen und Anschliefsen der unteren Deckelfläche, vorzüglich aber von der Güte der Harzmasse ab. Nach Robert soll eine Mischung aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz (Colophon), 2 Theilen weifsem Wachs, 2 Theilen venetianischem Terpentin und ½ Theil Pech sehr viele Elektricität geben und dieselbe lange an sich halten. Pfaff fand eine Mischung aus 8 Theilen Colophon, 1 Theil Gummilack und 1 Theil venetianischem Terpentin vorzüglich brauchbar. — Da eine gute Elektrophormasse die in ihr frei gewordene Elektricität sehr lange zurückhält, so hat man sich bisher meist eines Elektrophors als Zündmittel bei den bekannten Wasserstofffeuerzeugen bedient. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 728—754, und Marbach's phys. Lex. II. S. 243—253.)

Die wichtigsten mit der Elektrisirmaschine und den Verstärkungs-Apparaten anzustellenden Versuche.

§. 496.

Bekannt mit den Gesetzen des Elektrismus und dessen undamental-Wirkungen, so wie mit der Einrichtung und em Gebrauche der verschiedenen elektrischen Apparate, ollen wir nun noch die wichtigsten Versuche anführen, welche als eine Bestätigung des in dem Vorangehenden Erklärten dienen, und theils schon mit der Elektricität es Conductors einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisirmaschine angestellt werden können, theils aber auch einer röfseren Quantität dichterer Elektricität bedürfen, wobei enn die Ladungsflaschen und die elektrischen Batterieen ngewendet werden müssen.

I. Elektrische Bewegungen, welche aus der attractorischen und repulsiven Wirkung der im Spannungszustande befindlichen Elektricität entspringen.

Versuche. 1.) Der elektrische Kugel- und Puppentanz. — Hierzu dient der Apparat Fig. 302. *aa* ist eine runde Metalltafel, welche an dem Conductor der Maschine leitend aufgehangen ist; *bb* ist eine eben solche, unter der ersteren parallel aufgestellte Metalltafel, welche mit der Erde in leitender Verbindung steht; *cc* ist ein zwischen beiden Platten befindlicher Glascylinder. Bei der Drehung der Maschine wird *aa* + elektrisch und *bb* durch Vertheilung — elektrisch. — Zwischen beiden Tafeln befindliche leichte Körper, wie Kugeln von Sonnenrosenmark oder solche Püppchen, werden deßhalb abwechselnd angezogen und abgestoßen. — Sehr gut läßt sich der Kugeltanz auch hervorbringen, wenn man eine Glasglocke, wie sie gewöhnlich zum Zudecken von Käse in Gebrauch sind, eine Zeit lang über die Kugel des positiven Conductors hält und dann über die auf einer Metallplatte liegenden Hollunderkugeln stürzt.

2.) **Die elektrische Spinne.** — In Fig. 303 stellt *L* eine Ladungsflasche vor, an deren äußerem Belege ein Draht mit einer Kugel *b* angebracht ist. Wird die Flasche positiv geladen, so ist *a* + und *b* — elektrisch. — Ein zwischen diesen beiden Kugeln isolirt aufgehangener leichter Körper, z. B. ein Stückchen Holundermark in Form einer Spinne, oder eine kleine davon angefertigte Puppe, wird abwechselnd von *a* und *b* angezogen und abgestoßen, und auf diese Weise die Flasche entladen.

3.) **Die elektrische Schaukel.** — *ab* Fig. 304 ist ein mit Schaumsilber oder Stanniol überzogenes Holzstäbchen, welches um *c* wie ein Wagebalken isolirt beweglich ist. In Folge eines kleinen Uebergewichts bei *a* liegt es auf dem mit einer Kugel versehenen Draht *m* auf; *p* ist eine ähnliche, aber isolirte Metallkugel. — Wird *p* mit dem inneren, *m* mit dem äußeren Belege einer geladenen Flasche verbunden, so beginnt die schaukelnde Bewegung von *ab* aus denselben Gründen, wie bei dem vorigen Versuche.

4.) **Das elektrische Glockenspiel** Fig. 305. *mm* ist ein Metallstab, von welchem drei Glocken *b*, *a*, *b* und dazwischen die Metallkügelchen *c*, *c* herabhängen. Die Glocke *a* ist an einem Drahte befestigt, die beiden andern Glocken *b*, *b*, so wie die Kugeln *c* hängen aber an seidenen Fäden, außerdem stehen die Glocken *b* durch Ketten mit der Erde in leitender Verbindung. Dieser Apparat wird entweder mit der Glocke *a* auf den Zuleiter einer Ladungsflasche geschraubt, oder mittels

des Ringes *r* und einer Kette an dem Conductor der Maschine aufgehangen. — Bei Ladung der Flasche oder Drehung der Maschine wird die Glocke *a* +, die beiden anderen *bb* aber werden — elektrisch, worauf die zwischen ihnen befindlichen Kugeln *c* abwechselnd angezogen und abgestofsen werden.

5.) Die elektrisirte Baumwolle. — Ein Flöckchen aufgelockerte Baumwolle oder eine Flaumfeder, an einem leinenen Faden am Conductor hängend, schwillt bei'm Drehen der Maschine auf und strebt, gegen abgerundete, mit der Erde in Verbindung stehende Leiter hinzufliegen; nähert man ihnen aber eine Nadelspitze, so schrumpfen jene Körper zusammen und werden vom Conductor der Maschine angezogen. Aehnlich verhält sich ein Bündel leinener, baumwollener, seidener oder Glasfäden. — Eben so sträuben sich die Haare eines auf einem Isolirbrete stehenden Menschen empor, sobald er die Hand auf den Conductor der in Thätigkeit befindlichen Maschine legt. — In diesen Fällen stofsen sich nämlich die gleichartig elektrisch gewordenen beweglichen Theilchen der Körper gegenseitig ab.

6.) Der elektrische Staubregen. — Ein, aus einem kleinen Springbrunnen, Heronsball oder Heber ausfliefsender Wasserstrahl, welcher isolirt in leitender Verbindung mit dem Conductor der Maschine steht, zertheilt sich in feinen Staub. — Einen hierzu brauchbaren, ganz einfachen Apparat stellt Fig. 306 dar. *a* ist ein metallener Cylinder, den man mit einer Kette an den Conductor der Maschine hängt. In ihn wird Wasser gegossen und der Glasheber *b* eingesetzt. Sein Wasserstrahl zerstäubt, sobald die Maschine in Thätigkeit kommt.

7.) Der elektrische Wind. — Die Flamme eines Lichtes, nahe an eine, am Conductor angebrachte Spitze oder kleine Kugel gehalten, wird von der ausströmenden Elektricität fortgeblasen. Es geschieht diefs in Folge der von der Spitze oder der Kugel abgestofsenen elektrisirten Luft.

8.) Das elektrische Flugrad. — Ein metallenes S oder Kreuz, wie Fig. 307, auf einer Spitze drehbar, die auf dem Conductor der Maschine oder auf der Kugel einer Ladungsflasche angebracht ist, dreht sich wie das Segner'sche Wasserrad (§. 170) oder die Dampfkugel (S. 643) in entgegengesetzter Richtung, wie die Elektricität aus den Spitzen ausströmt.

§. 497.

II. Sichtbarer Unterschied der + und — Elektricität, theils durch Lichterscheinung, theils durch mechanische Wirkung.

Versuche. 1.) Die aus einer stumpfen Spitze oder kleinen Kugel des positiven Conductors ausströmende Elektricität bildet einen röthlich-blauen Strahlenbüschel. — Bei einer solchen Spitze am negativen Conductor zeigt sich blos ein leuchtender Punct oder Stern.

Nähert man eine solche Spitze dem positiven Conductor, so entsteht an ihr ein leuchtender Stern, nähert man sie aber dem negativen Conductor, so zeigt sich ein Lichtbüschel. — Es zeigt diefs zugleich, dafs da, wo eine der beiden Elektricitäten frei geworden ist, die entgegengesetzte stets herbei gezogen wird, und dafs also kein Einsaugen der Elektricität in die genäherten Spitzen, sondern nur eine Neutralisirung der ± Elektricität durch sie bewirkt wird.

2.) Läfst man von der Kugel einer geladenen Flasche auf einen glatten Harzkuchen einen positiven, auf einen andern oder auch nur auf eine andere Stelle einen negativen Funken überspringen, so bleibt an den getroffenen Stellen die + und — Elektricität haften. Bepudert man nun die Harzfläche mit *semen lycopodii*, pulverisirtem Schwefel oder einem andern staubförmigen Körper, so werden von den elektrischen Stellen Staubtheilchen angezogen und festgehalten. — Nach dem Hinwegblasen des übrigen Pulvers von der Harzfläche erscheint an der positiv elektrischen Stelle eine strahlig sternförmige Figur, an der negativ elektrischen aber ein mehr oder weniger runder wolkiger Fleck. — Man hat diese Figuren nach ihrem Entdecker Lichtenbergische Figuren genannt. — Benutzung von Metallringen oder Metallglocken zur Elektrisirung des Harzkuchens. — Darstellung von Buchstaben oder andern Figuren mittels der Kugel einer geladenen Flasche. — Nothwendigkeit der Erwärmung und noch besser der Ueberschmelzung der Harzfläche vor Anstellung der Versuche.

3.) Man elektrisire auf dieselbe Weise einen Harzkuchen an einigen Stellen positiv, an andern, aber nicht zu nahe an diesen, negativ, und beutele durch lockere Leinwand ein Gemenge von Schwefelpulver und Mennige (rothem Bleioxyd). — Die positiv elektrischen Stellen werden vom Schwefel gelb, die negativ elektrischen von der Mennige roth gefärbt, und zwar mit den ihnen zukommenden Figuren erscheinen. In Folge der beim Beuteln durch die Leinwand stattfindenden Reibung nimmt nämlich der Schwefel —, die Mennige + Elektricität an, weshalb sie von den entgegengesetzt elektrischen Stellen angezogen werden.

4.) Man stelle zwei gleich grofse geladene Flaschen, wovon das äufsere Belege der einen positiv, das der anderen negativ geladen ist, 3—4 Zoll von einander entfernt auf eine Glastafel, deren obere Fläche mi *semen lycopodii* bepudert, deren untere aber mit Stanniol bele t ist. So wie man mittels eines gewöhnlichen

Ausladers die beiden inneren Belege der Flaschen in Verbindung bringt, springt auch ein Funke zwischen den äufseren Belegen über. — Nach der Entladung findet man rings um jede Flasche in dem Staube die Figuren derjenigen Elektricität, welche dem äufseren Belege jeder Flasche angehört hat; auf dem Wege aber, den der Funke über die Tafel nahm, ist aller Staub weggefegt. Uebrigens ist dieser Weg vom positiven Belege aus mit positiven, vom negativen aber mit negativen Figuren eingefafst, die aber nicht weit von dem Puncte, wo sie einander begegneten, aufhören, und hier, wo sich die ± Elektricitäten zu 0 Elektricität vereinigt haben, zeigt sich oft ein grofser runder Fleck, der von keinerlei Figuren begrenzt ist.

(S. Gilbert's Annal. IV. S. 421, 435, V. S. 33, 73, 446, VIII. S. 326, Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 754, und Marbach's phys. Lex. II. S. 438.)

§. 498.

III. Elektrische Lichterscheinungen treten, wie bereits bekannt ist, stets da ein, wo eine Neutralisirung der ± Elektricität durch die Luft hindurch vor sich geht. Sie zeigen sich als ein, von dem elektrischen Körper ausgehendes schwaches Leuchten oder Glimmen, wenn die Neutralisirung allmählig von der Luft selbst erfolgt, wie bei dem sogenannten Ausströmen der Elektricität aus Spitzen und kleinen Kugeln; sie stellt sich aber als ein Funke dar, wenn der entstehende elektrische Strom seinen Weg plötzlich durch einen guten Leiter nimmt, und zwar an jeder Stelle, wo dieser durch Luft unterbrochen ist. Die Intensität dieses Lichtes ist abhängig theils von der Dichtheit der angehäuften Elektricität, theils von der Dichte des Gases, durch welches der Funke geht. Je dichter beides, desto heller und glänzender, aber auch desto kürzer ist der Funke. In verdünnter Luft wird das Licht länger, breiter und schwächer, wobei es zugleich eine rosafarbene oder violette Färbung annimmt. Aufserdem verändert sich auch die Farbe des Funkens nach der Verschiedenheit des Leiters, durch welchen der Strom seinen Weg nimmt. Bei'm Golde erscheint er grün, bei'm Silber röthlich, bei'm

Zinn oder Zink weifs, bei'm Wasser mehr gelb oder orange. Hierauf beruhen mancherlei elektrische Apparate, durch welche sich recht schöne und selbst überraschende Lichterscheinungen hervorbringen lassen, von denen aber hier nur ganz kurz einige der vorzüglichsten angeführt werden sollen.

Versuche. 1.) Die Blitzröhre oder der Aronstab. — Es ist diefs eine einige Fufs lange Glasröhre, auf deren Aufsenfläche in einer spiralförmigen Linie Stanniolplättchen mit kleinen Zwischenräumen unter einander aufgeklebt sind. — Jeder Funke, der durch diese Leitung seinen Weg nimmt, erscheint augenblicklich an allen Unterbrechungsstellen.

Dem ganz ähnlich sind die leuchtenden Namen, Sternbilder oder anderen Figuren. Sie entstehen ebenfalls durch die an den entsprechenden Stellen angebrachten Unterbrechungen in einem Stanniolstreifen, welcher auf einer Glastafel aufgeklebt und durch den die elektrische Entladung geleitet wird.

2.) Die Blitztafel oder Blitzscheibe. — Diese besteht aus einer Franklin'schen Tafel (§. 492), deren eines Beleg in lauter kleine Quarrees zerschnitten ist. — Bei'm Laden der Tafel springen zwischen den kleinen Quadraten des zerschnittenen Beleges während der Vertheilung der Elektricität abwechselnd nach verschiedenen Richtungen blitzähnlich sich verzweigende Funken über, welche Erscheinung sich bei'm Entladen der Tafel als eine vom Entladungspuncte aus nach allen Richtungen in zackigen Strahlen ausschiefsende Sonne darstellt.

Ganz ähnliche Erscheinungen erhält man bei'm Laden einer Leidener-Flasche, deren äufseres Belege wie das der Blitztafel durchschnitten oder durch aufgestreute Metallspäne gebildet wird.

Besteht das durchschnittene Belege einer Blitztafel oder leuchtenden Flasche abwechselnd aus Streifen ächten Blattgoldes und Blattsilbers, so erscheinen die Funken in prismatischen Farben.

3.) Das elektrische Nordlicht. — Hierzu gehört eine gegen 2 bis 3 Zoll weite, einige Fufs lange Glasröhre, welche an beiden Enden durch messingene Fassungen luftdicht verschlossen ist. Beide Fassungen sind nach innen mit einer oder einigen Spitzen versehen, wovon die eine nach aufsen eine Kugel, die andere einen, mit dem Innern communicirenden Canal hat, welchen man durch einen Hahn verschliefsen und damit auf den Teller der Luftpumpe schrauben kann, um die Luft in der Röhre nach Erfordern zu verdünnen. — Verbindet

man jetzt die Kugel der oberen Fassung durch eine Kette mit dem Conductor der Maschine und setzt diese in Bewegung, so entsteht nun innerhalb des luftverdünnten Raums jene mit einem Nordlichte viele Aehnlichkeit habende elektrische Lichterscheinung unter folgenden verschiedenen Modificationen. Bei einem hohen Grade der Luftverdünnung wird die ganze Röhre von einem violett röthlichen Lichtscheine durchzuckt; läfst man etwas wenig Luft zuströmen, so schiefsen dann abwechselnd Lichtstreifen und Lichtblitze von den Spitzen der Fassungen aus, welche sich an der innern Glasfläche herabschlängeln und immer dünner, aber auch weifser werden, je mehr sich die Luftverdünnung vermindert, bis endlich die Elektricität die Luftsäule nicht mehr zu durchströmen vermag und die Lichterscheinung in ein bloſses Glimmen der Spitzen übergeht. — Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich in der Toricellischen Leere eines Barometers bei wiederholtem Bewegen des Quecksilbers, wo die Elektricität durch die Reibung des letzteren an den Glaswänden entwickelt wird.

§. 499.

IV. Phosphorescirende Lichterscheinungen entstehen, wenn man einen Entladungsschlag über die Oberfläche mancher unvollkommenen Leiter, namentlich des Mineralreichs, gehen läfst; andere dergleichen undurchsichtige Körper, vorzüglich Früchte, werden durchscheinend und eine kurze Zeit leuchtend, wenn die Entladung durch ihr Inneres oder unter ihnen hinweg vor sich geht.

Versuche. 1.) Körper, welche durch einen, über sie geleiteten Entladungsfunken eine Zeit lang phosphoresciren, und zwar mit verschiedenen Farben, sind folgende:

Weifse Kreide phosphorescirt orange,
Bergkrystall zuerst roth, dann weifs,
schwefelsaurer Baryt oder Cölestin hellgrün,
calcinirte Austerschalen zeigen prismatische Farben,
dieselben, mit Schwefel calcinirt, ein dauerndes helles Licht,
Bernsteinsäure phosphorescirt glänzend grün,
Hutzucker desgleichen.
(S. Singer's Elemente der Elektricität etc. S. 132.)

Am bequemsten bedient man sich hierzu des allgemeinen Ausladers Fig. 299, indem man die Körper, über deren Oberflächen man die Entladung führen will, zwischen seine Spitzen auf das Tischchen legt und diese mit einer nicht zu kleinen

Lane'schen Flasche Fig. 297 (von 1 bis 1½ Quad. Fufs Belege) in Verbindung setzt. Beider Apparate kann man sich noch mit Vortheil zu den folgenden Versuchen bedienen.

2.) Eine kleine Melone, Citrone, ein Apfel oder eine ähnliche Frucht, in welche man zwei Drähte so führt, dafs ihre Enden nicht weit von einander abstehen, werden durchscheinend und leuchtend im Augenblicke der Entladung der Flasche.

Dieselbe Erscheinung kann man an einem oder mehren Eiern hervorbringen, wenn sie in eine kleine hölzerne Rinne so eingelegt werden, dafs sie sich mit ihren Enden berühren, und man hierauf die Entladung durch sie gehen läfst.

Wird ein solcher Entladungsfunke unter einer Platte von Pfeifenthon, einem Stücke Bimstein, einem mit Wasser oder einer gefärbten Flüssigkeit gefüllten Glase hinweggeführt, so erscheint auch die ganze Masse dieser Körper auf eine kurze Zeit leuchtend (s. Singer S. 132).

Da diese Lichterscheinungen nur schwach sind, so müssen die Versuche in einem verfinsterten Zimmer angestellt werden, und auch die übrigen elektrischen Lichterscheinungen fallen in einem verfinsterten Raume allemal weit glänzender aus.

§. 500.

V. Mechanische Wirkungen des verstärkten Flaschen- oder Batterie-Funkens. — Zu den besonderen Kraftäufserungen des elektrischen Stromes gehört auch die mechanische Gewalt, mit der er sich bei seinem Fortgange in einem guten Leiter einen Weg durch Nicht- oder Halbleiter bahnt, diese ausdehnt, zerstreut, durchbohrt oder zertrümmert. Sind diese Halb- oder Nichtleiter flüssig, wie z. B. Luft oder Wasser, so werden ihre Theilchen plötzlich auf die Seite geschoben, und sind diese Flüssigkeiten in Gefäfse eingeschlossen, so ist es gerade so, als wenn sie für einen Augenblick ausgedehnt würden.

Versuche. 1.) Die Ausdehnung der Luft in dem Momente, wo sie von einer elektrischen Entladung durchbrochen wird, zeigt sehr deutlich Kinnersley's sogenanntes elektrisches Thermometer Fig. 308. — Das Glasrohr *A* ist luftdicht verschlossen, das damit communicirende *B* aber oben offen, und in beiden steht eine gefärbte Flüssigkeit gleich hoch. Jedesmal, wenn zwischen den Kugeln *a* und *b* ein Funke überspringt, bemerkt

man, dafs die Flüssigkeit bei *B* auf einen Augenblick ein Stück in die Höhe getrieben wird.

2.) Die Oeffnung eines kleinen hölzernen Bechers Fig. 309, durch welchen zwei Drähte gehen, deren Enden ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll Abstand haben, verschliefse man durch eine genau passende Kugel von Kork oder Holundermark. In dem Augenblicke der Entladung wird diese von der Oeffnung hinweggeworfen.

3.) Füllt man die Aushöhlung jenes kleines Bechers mit Sand oder Schiefspulver an, so wird dieses durch den zwischen den Drahtenden überspringenden Funken zerstreut.

4.) Wasser wird so plötzlich und stark ausgedehnt, dafs die stärksten Glasröhren zersprengt werden, wenn sie damit gefüllt sind und ein Funke von einem hineingesteckten Drahte auf einen nahe gegenüberstehenden überspringt.

5.) Mehre Kartenblätter werden von dem elektrischen Funken durchbohrt, wenn man sie zwischen die Kugeln des allgemeinen Ausladers bringt und durch diese eine stark geladene Flasche von ungefähr 1 Quad. Fufs Belege entladet. Nach der Entladung zeigen die Karten bei ihrer Entfaltung einen eigenthümlich phosphorisch schwefeligen Geruch, dem ähnlich, welchen man an einem Orte verspürt, wo kurz vorher der Blitz eingeschlagen hat. — Auf dieselbe Weise lassen sich auch Holz und andere Halbleiter durchbohren. — Läfst man einen starken Schlag durch die 1 bis 2 Zoll von einander entfernten Kugeln des allgemeinen Ausladers, die man auf sein Tischchen an ein Stück trockenes Schreibpapier gedrückt hat, gehen, so wird das Papier zerrissen.

6.) Eine kleine Phiole Fig. 310 werde mit Oel gefüllt und dann mit einem Kork verschlossen, durch welchen ein Draht geht, dessen unteres, in der Flasche befindliches Ende so gebogen ist, dafs es die innere Glasfläche berührt. Das aus der Flasche vorragende Drahtende ist in einen Haken umgebogen, womit man die Flasche an den Conductor der Maschine hängen kann. — Wird nun die Maschine in Wirksamkeit gesetzt und eine Metallkugel an die äufsere Fläche der Flasche, dem Drahtende gegenüber gehalten, so durchbohrt ein Funke das Glas an dieser Stelle.

7.) Zwischen zwei auf einander zu klebende Bretchen oder Glastafeln bringe man einen Streifen Zinnfolie, der an einer oder einigen Stellen unterbrochen ist. [illegible] man durch diesen Metallstreif einen starken Entlad[illegible] so werden die Bretchen auseinander [illegible] tafeln zertrümmert.

§. 501.

VI. Wärmeerregung durch den elektrischen Strom. — Es zeigt sich diese sowohl, wenn ein Strom durch schwache Drähte hindurchgeleitet wird, als auch dann, wenn ein Entladungsfunke auf entzündliche Körper überspringt oder durch sie hindurchgeht. Im ersteren Falle ist die Wirkung im Allgemeinen um so beträchtlicher, je gröfser der Leitungswiderstand des durchströmten Drahtstücks, und je stärker die Ladung der Flasche oder Batterie ist; im anderen Falle ist der Erfolg meist von der gröfseren oder geringeren Entzündlichkeit der Substanzen abhängig, indem manche schon durch den kleinsten Funken angezündet werden, während andere einen verstärkten Funken erfordern.

Versuche. 1. Zwischen die Arme des allgemeinen Ausladers Fig. 299 spanne man einen schwachen Stahldraht (Claviersaiten Nr. 12 von 0,14^{mm} Stärke oder auch schwächere), noch besser aber eine feine Stahlfeder, wie die Spiralen der Taschenuhren sind. In dem Augenblicke, wo der Strom einer stark geladenen, hinlänglich grofsen Flasche oder Batterie diese dünnen Leiter durchfliefst, werden sie entweder blos glühend oder geschmolzen. War die Ladung zu schwach, so zeigt der blau angelaufene Draht die stattgefundene Erhitzung an.

Bei demselben Drahte ist die Länge, welche durch eine solche Entladung geschmolzen wird, von der Gröfse des Beleges und der Stärke der Ladung der Batterie, also von der Quantität und Dichte der in Bewegung übergehenden Elektricität abhängig *). Gleiche Ladungen schmelzen dann gleiche Längen desselben Drahtes; bei Drähten anderer Metalle von demselben Durchmesser ist aber diese Länge verschieden, und zwar ist sie um so kleiner, ein je besserer Leiter das Metall

*) Mit der Pfister'schen Scheibenmaschine (§. 489 S. 795) wurde eine Lane'sche Flasche von 9 Wien. Quad. Fufs Belege durch 14 Umdrehungen so stark geladen, dafs ihr Entladungsfunke einen 18 Zoll langen Stahldraht Nr. 12 schmolz (s. Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. u. Math. III. S. 441), und durch die grofse Batterie v. Marum's von 550 Quad. Fufs wurde ein Eisendraht, $\frac{1}{16}$ Zoll dick und 24½ Zoll lang, geschmolzen und in glühende Kügelchen zerstäubt (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. 850).

für die Elektricitat ist. Priestley und v. Marum suchten hiernach die Stärke der Ladung und das verschiedene Leitvermögen der Metalle zu bestimmen, den dadurch zu erlangenden Resultaten mangelt aber hinlängliche Genauigkeit. In neuerer Zeit hat aber Riefs hierüber sehr genaue und vollständige Versuche angestellt, wobei er die Erwärmung eines, in den Schliefsungskreis eingeschalteten, bestimmten Stücks Platindraht mit Hilfe des von ihm dazu construirten, sehr empfindlichen elektrischen Luftthermometers mafs (s. Poggendorf's Annal. LII. S. 315). Die Hauptgesetze, die er auf die dabei erhaltenen Resultate begründete, sind folgende: 1.) Die Temperaturerhöhung des Entladungsdrahtes ist bei sonst gleichen Umständen dem Producte aus der Quantität und der Dichtheit der Elektricität proportional. 2.) Haben die Drähte desselben Metalls eine verschiedene Dicke, so verhalten sich ihre Temperaturerhöhungen bei gleicher Länge umgekehrt wie die Biquadrate ihrer Halbmesser. 3.) Die in einem Drahte durch eine bestimmte elektrische Entladung frei werdende Wärmemenge ist der Länge direct, dem Querschnitte des Drahtes indirect proportional. 4.) Die Erwärmung irgend eines in den Entladungskreis eingeschalteten Drahtes ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional. 5.) In verschiedenen, mit einander verbundenen Metalldrähten, durch welche eine Batterie zugleich entladen wird, ist die in ihnen entwickelte Wärmemenge den Verzögerungen (Leitungswiderständen) genau proportional, welche diese Drähte einzeln irgend einer elektrischen Entladung verursachen (s. Dove's Repert. d. Phys. II. S. 57, 58, VI. S. 192, 194, 200).

2.) Ganz feiner Silberdraht (von etwa 0,033mm Dicke), auf gleiche Weise zwischen die Zuleiter des allgemeinen Ausladers gespannt, verbrennt mit grünem Lichte und verflüchtigt sich als grauer Rauch, wenn man durch ihn einen hinlänglich starken Entladungsschlag leitet. Dasselbe tritt auch bei ganz dünnen Drähten anderer Metalle ein. Hat man den Draht durch eine Glasröhre gezogen, so sammelt sich in dieser das oxydirte Metall an, welches dann verschiedene Farben zeigt (s. Singer's Elektricitätslehre S. 120).

3.) Spannt man einen, mit Silber übersponnenen Seidenfaden zwischen den Auslader und leitet einen Batteriefunken hindurch, so wird das Silber von der Seide verbrannt und der Faden bleibt unbeschädigt.

4.) Legt man einen schmalen Streifen ächten Blattgold auf ein oder zwischen zwei Blättchen Papier, bringt diese auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers und [illegible] Entladungsschlag einer Flasche von 1—2 Quad. F. Belege [illegible] durch diesen das Gold verbrannt. W[illegible] man auf

beiden Papierblättchen einen purpurfarbigen Streif von Goldoxyd; war es silberhaltig, so ist der Streif mit Grau gemengt. Ein Streifchen ächtes Blattsilber, auf dieselbe Weise verbrannt, hinterläfst blos einen grauen Streif von Silberoxyd.

5.) Verfährt man eben so mit einem zwischen zwei Glastäfelchen liegenden Streifchen Blattgold, so wird dieses in das Glas eingeschmolzen. Im reflectirten Lichte erscheint dann das Glas an diesen Stellen vergoldet, im durchgehenden Lichte aber zeigt es die Farbe des Goldoxyds. — Sollen bei diesem Versuche nicht beide Glastafeln zertrümmert werden, so mufs man drei über einander und zwischen die oberste und unterste einen Goldstreif legen; dann bleibt die mittelste Glastafel ganz *).

6.) Von allen mit Flamme verbrennlichen Körpern ist das Knallsilber am leichtesten entzündlich. — Eine kleine Quantität desselben, auf eine Messerspitze gebracht, entzündet sich schon, wenn man mit dieser noch einige Fufs vom Conductor einer in Wirksamkeit befindlichen Maschine ist.

7.) Fast eben so leicht ist die Entzündung von Knallgas zu bewerkstelligen, indem der kleinste Funke dazu hinreichend ist. — Man bedient sich hierzu gewöhnlich der elektrischen Knallluftpistole Fig. 311. *a* ist eine, an einem Ende durch einen Boden verschlossene Metallröhre, in deren Nähe, durch ein Glasröhrchen isolirt, ein Messingdraht *b* mit Kugel in die Röhre geleitet ist, so dafs das im Innern befindliche Drahtende ungefähr ¼ Zoll Abstand von der Röhrenwand behält. Läfst man nun aus einem Gasometer (Fig. 123 Tab. IV) Wasserstoff in das Rohr strömen und verschliefst dessen Oeffnung mit einem Pfropf, so reicht der kleinste auf *b* und zwischen dem Drahtende und der Röhre überspringende Funke hin, um das darin befindliche Knallgas zu detoniren.

8.) Ein äufserlich völlig trockenes Weinglas fülle man beinahe voll mit kaltem Wasser, gieſse auf dessen Oberfläche eine Schicht Schwefeläther und verbinde das Wasser durch eine Kette mit dem Conductor der Maschine. Wird diese gedreht und ein Fingerknöchel oder anderer Leiter der Oberfläche des Aethers genähert, so zündet der aus dem Wasser zum Leiter überspringende Funke den Aether an. — Eben so kann man die Entzündung auch bewirken, wenn eine isolirte, mit der Conductor der Maschine in Verbindung stehende Person eine

*) Von dem einfachen Conductorfunken der v. Marum'schen Maschine wurde ein Streifen Blattgold, 1½ Linie breit 20 Zoll lang, und von der ebenfalls bei'm ersten Versuche erwähnten Pfister'schen Maschine durch einen solchen Funken Streif von ¼ Zoll Breite und 10 Zoll Länge verbrannt.

Metalllöffel in die Hand nimmt, in welchen man etwas Schwefeläther gießt, woraus dann der Funke gezogen wird.

9.) Streut man etwas fein gepulvertes Colophonium auf die Oberfläche des in eine porzellanene Untertasse gegossenen Wassers, bringt diese nahe unter die 2 bis 4 Zoll von einander entfernten Kugeln des allgemeinen Ausladers und läßt den Entladungsfunken einer Flasche von einer Kugel zur andern gehen, so wird dieser das auf seinem Wege liegende Harzpulver entzünden. Dieselbe Wirkung erhält man, wenn das Colophon auf die rauhe Oberfläche eines Bretchens oder in etwas aufgelockerte Baumwolle eingerieben wird.

10.) Die zündende Kraft des verstärkten Funkens wird erhöht, wenn er durch einen feuchten Leiter gehen muß. Hierauf beruht die Möglichkeit der Entzündung des Schießpulvers, welches von dem gewöhnlichen Funken nur zerstreut wird (V. d. dritten Versuch S. 833). Bringt man nämlich in den kleinen hölzernen Becher Fig. 309 Schießpulver und leitet den Entladungsschlag durch einen etwa 6 Zoll langen nassen Bindfaden, den man an den Arm des allgemeinen Ausladers angehangen hat, welcher mit dem negativen Belege der Flasche in Verbindung steht, so bewirkt der Funke bei seinem Ueberspringen von einem Drahtende zum andern die Entzündung (Sturgeon in Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. u. Math. II. S. 46 1827).

§. 502.

VII. Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stroms äußern sich auf verschiedene Weise, treten aber (wie bereits §. 493 bemerkt wurde) bei discontinuirlichen und momentanen Strömen der Reibungs-Elektricität weniger deutlich und bestimmt hervor als bei den continuirlichen der Berührungs- und Thermo-Elektricität. Am bemerkbarsten ist noch die Erregung von Magnetismus im unmagnetischen Stahle und die ebenfalls hierauf beruhende Wirkung der Umkehrung der Polarität in Magneten. Es mögen daher hier nur einige Versuche als Belege angeführt werden.

Versuche. 1. Zwischen die Arme des allgemeinen Ausladers bringe man einen etwa 1 bis 2 Zoll breiten Streifen Kupferblech. Quer über diesen lege man auf irgend eine isolirende Unterlage eine feine Nähnad[illegible] ietzt einen oder einige starke Flaschenschläge durch [illegible] leadet

zeigt sich dann magnetisch, und zwar ist das Ende, welches rechts von der Richtung des Stromwegs lag, ein Nordpol, das links gelegene ein Südpol geworden. Bringt man die Nadel unter dem Kupferstreif an, so kommen die Pole gerade auf die entgegengesetzten Seiten zu liegen.

2.) Stellt man eine kleine Abweichungsnadel so auf den Kupferstreif, dafs dieser ihren magnetischen Meridian rechtwinkelig schneidet, so werden einige starke Entladungen, die von West nach Ost durch diesen gehen, die Polarität der Nadel umkehren, was aber nicht eintritt, wenn der Entladungsstrom seinen Weg von Ost nach West nimmt.

3.) Sicherer und stärker tritt die Magnetisirung von Stahlnadeln ein, wenn der elektrische Strom isolirt um diese in einer schraubenförmigen Spirallinie geleitet wird. Hierzu dient eine, auf diese Weise gewundene, mit Seide übersponnene Kupferdrahtspirale, in welche die zu magnetisirende Stahlnadel geschoben wird, und deren Enden man zwischen die Arme des allgemeinen Ausladers spannt. — Schon der einfache Funke des Conductors erzeugt dann sehr bemerkbaren Magnetismus, der aber stärker hervortritt, wenn man den Strom einer geladenen Flasche dabei anwendet. — Bringt man eine Magnetnadel in die Spirale und leitet den Strom so in diese, dafs ihr Nordpol rechts von seiner Richtung liegt, so werden durch eine oder einige starke Entladungen ihre Pole umgekehrt.

Die Erklärung hierüber findet sich in der Lehre über Elektromagnetismus.

§. 503.

VIII. Physiologische Wirkungen äufsert die Elektricität schon im Zustande ihrer Spannung, und zwar wahrscheinlich zum Theil in Folge der in dem menschlichen Körper vor sich gehenden Elektricitätsvertheilung. Es gehört dahin die schon erwähnte Empfindung, als wenn Spinnenfäden über das Gesicht gezogen würden, und der sich verbreitende eigenthümliche phosphorische Geruch. Am auffallendsten tritt sie aber bei dem elektrischen Strome in denjenigen Theilen des Körpers, welche sich in dem Verbindungskreise des inneren und äufseren Beleges einer Leidener-Flasche befinden, durch die elektrische Erschütterung ein.

Mit der Gröfse der belegten Fläche und der Stärke der Ladung wachsen auch die Wirkungen des Schlages und können so weit gesteigert werden, dafs sie vorübergehende oder gänzliche Lähmung einzelner Gliedmafsen und selbst den Tod zur Folge haben. Bei solchen Versuchen ist defshalb stets die Vorsicht zu nehmen, dafs keine zu starke Ladung angewendet wird. — Kleine Thiere können schon durch den Schlag einer einzelnen Flasche getödtet werden, und eine Batterie von 10 Quad. Fafs Belege reicht schon hin, um ein gröfseres Thier, besonders wenn der Schlag durch das Gehirn geleitet wird, zu betäuben oder gar zu tödten.

Die Durchleitung des discontinuirlichen und momentanen Stroms durch Theile des thierischen Organismus bewirkt hauptsächlich eine Reizung der Nerven und Muskeln, wodurch die Thätigkeit des Gefäfssystems erhöht, die Bewegung der Säfte befördert und thierische Wärme erzeugt wird. Man hat daher diese Wirkung der Reibungs-Elektricität auch schon mehrfach in medicinischer Hinsicht angewendet. (Man sehe hierüber Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 392—406 und Marbach's phys. Lex. II. S. 118—122.)

Aehnliche Wirkungen wie auf den thierischen Organismus hat die Elektricität auch auf den vegetabilischen. Die blofse Mittheilung scheint keinen merklichen Einfluſs auf die Vegetation zu haben, wogegen Schläge von Ladungsflaschen das Leben in den Pflanzen tödten.

Versuche. 1.) Das sogenannte elektrische Bad einer auf einem Isolirtritte befindlichen Person besteht darin, dafs man den elektrischen Strom des Conductors durch einzelne Theile des Körpers leitet, denen man von aufsen einen spitzen oder kugelförmigen Leiter nähert.

2.) Der elektrische Erschütterungsschlag des Flaschenfunkens wird erzeugt, wenn mehre Personen sich anfassen, die letzte mit dem äufseren Belege in leitende Verbindung gebracht wird, und die erste dann die Kette schliefst, indem sie entweder die Kugel der Flasche unmittelbar mit der Hand oder mit einem Leiter berührt. Die Schnelligkeit des elektrischen Stroms ist die Ursache, dafs alle Personen den Schlag in demselben Augenblicke empfinden. — Schaltet man in den Schliefsungskreis einen feuchten Leiter, z. B. ein Stück nassen Bindfaden, ein, so erhält man statt der Erschütterung nur eine eigenthümlich brennende Empfindung in den Fingerspitzen.

3.) Eine Maus, ein Vogel, ein Fisch oder ein anderes kleines Thier wird getödtet, wenn man den Kopf desselben zwischen die Drähte des allgemeinen Ausladers bringt und Entladungsschlag einer grofsen Flasche hindurchleitet.

Fischen kann man die Wirkung des elektrischen Schlags auch wahrnehmen, wenn man sie in ein Glasgefäfs mit Wasser bringt und durch dieses die Entladung gehen läfst.

§. 504.

IX. Chemische Wirksamkeit des elektrischen Stroms. — Die rein chemischen Wirkungen, wenn man nicht schon die unter Oxydation vor sich gehenden Verbrennungen der Metalle dazu zählen will, sind wegen der Discontinuität und mehr stofsweise vor sich gehenden Action der Ströme (wie bereits §. 493 angeführt wurde) wenig bemerkbar, jedoch können folgende Versuche als ein Beweis des Vorhandenseins der zersetzenden Wirkung dienen.

Versuche. 1.) Die Zersetzung mehrer Körper durch den Strom einer in Thätigkeit erhaltenen Elektrisirmaschine läfst sich nach Faraday auf folgende Art unzweifelhaft nachweisen: Auf eine Glastafel *GG* Fig. 312 werden zwei Stücke Zinnfolie *zz* gelegt. Von jedem derselben ragt der Haken eines wie *p* gebogenen Platindrahtes auf das Glas hinaus, so dafs ein Raum zwischen den auf letzterem aufstehenden Platinspitzen verbleibt, welcher mit dem der Zersetzung zu unterwerfenden Körper *k* ausgefüllt wird. Die Glasplatte bringt man auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers, stellt die beiden Drähte *a* desselben auf die Zinnfolie und verbindet den einen durch eine Kette und nasse Schnure mit dem positiven Conductor, den andern mit dem Reibzeug oder einer guten Ableitung. — Wird ein Tropfen schwefelsaure Kupferlösung zwischen die Platinspitzen bei *k* gebracht, so scheidet sich nach einigen Umdrehungen der Maschine am negativen Drahtende metallisches Kupfer aus. Salzsäure, mit Indigo gefärbt, erleidet am + Drahte eine Entfärbung; aus Jodkaliumlösung wird an demselben Drahte Jod ausgeschieden. Noch leichter treten die Zersetzungen ein, wenn statt der Flüssigkeit damit getränktes Fliefs- oder Reagenzpapier zwischen die Platindrähte gelegt wird. Bei einem Stücke Reagenzpapier*), welches mit schwefelsaurem

*) Ein ganz vorzüglich empfindliches Reagenzpapier kann man sich aus den Blättern dunkel violetter Georginen auf folgende Art bereiten. Auf die Blätter einer solchen Blume gieſst man 1—2 Unzen Alkohol von etwa 80°—90° T., digerirt dieſs bei ganz geringer Wärme oder Lufttemperatur etwa 8—10 Stunden, preſst die Blätter aus und filtrirt die Tinctur. Damit getränktes weiſses Flieſspapier erhält nach dem Trocknen

ron, salpetersaurem Kali oder einer anderen Neutralsalzlös-
; befeuchtet ist, wird am + Drahtende die Säure, am — das
ali ausgeschieden. Nimmt man ein Stück angefeuchtetes Jod-
kepapier*), so entsteht am — Drahte eine blaue Jodfärbung.
Die von mehren Physikern, namentlich von Wollaston,
chriebene Zersetzung des Wassers mittels in Glasröhren ein-
chlossener mikroskopischer Platinspitzen, von welchen aus
Strom durch das zwischen ihnen befindliche Wasser geleitet
d, ist so äufserst schwach, dafs erst nach längerer Zeit Spu-
der Bestandtheile zum Vorschein kommen. Faraday hat
en Gegenstand auf's Neue untersucht, ohne zu einem be-
mmten Resultate kommen zu können, jedoch glaubt er, dafs
Sauerstoff bei einem Strome ohne Funken an dem +, der
serstoff an dem — Drahtende ausgeschieden wird, weil er
nerkte, dafs an letzterem eine stärkere Gasentwickelung als
ersterem stattfand.

2.) Anhaltend durch die atmosphärische Luft gehende Ent-
ngsfunken verbinden ihre Bestandtheile zu Salpetersäure.
Faraday liefs hierzu über einen mit Aetzkalilösung befeuch-
n Streifen Lackmuspapier elektrische Funken durch die Luft
rschlagen; das Papier wurde geröthet und zeigte sich, nach-
s es getrocknet war, mit Salpeter durchzogen.
(S. Poggendorf's Annal. XXIX. S. 290, XXXII. S. 402
Dove's Repert. d. Phys. II. S. 44.)

3.) Läfst man aus einer feinen Metallspitze, die mit dem
ductor der Maschine in leitender Verbindung steht, die
Elektricität eine Zeit lang gegen die Zunge strömen, so er-
t sie einen schwach säuerlichen, ist es aber — Elektricität,
en schwach alkalischen Geschmack.

§. 505.

Nachdem nun alle Erscheinungen und Wirkungen, die der durch Reibung hervorgebrachten Elektricität entgen, erklärt worden sind, mögen nun auch noch e der Meinungen über die eigentliche Veranlassung dieso kräftigen Elektricitätsquelle kurz angeführt wer-

Manche Physiker glauben nämlich, dafs die bei'm

---

an der Luft eine hellblaue Farbe, welche durch die geringste Spur einer freien Säure geröthet, durch die eines Alkali's grün gefärbt wird.
Weifses Fliefspap[illegible] durch dünnen Stärkekleister ge-
zogen, alsdann g[illegible] bei Anstellung des Versuchs
mit Jodkalium[illegible]

Aneinanderreiben der Körper sich entwickelnde Wärme die Hauptursache davon sei, allein sie kann wohl hierbei nur als secundär wirkend angenommen werden, weil sonst die Elektricitätsmenge in demselben Verhältnisse zunehmen müfste, als die Wärme durch Reibung gesteigert wird, was jedoch nicht der Fall ist. In neuerer Zeit ist die Ansicht aufgestellt worden, dafs diese Elektricitätserregung aus einem, durch die Reibung eingeleiteten chemischen Processs entspringe. Das Vorhandensein einer solchen chemischen Action glaubt man aus dem sich bei'm Reiben verbreitenden eigenthümlichen Geruch folgern zu können, so wie auch daraus, dafs das Amalgam auf den Reibzeugen der Elektrisirmaschinen ein leicht oxydirbarer Körper sein mufs. Evident erwiesen ist es aber durchaus noch nicht, dafs jener eigenthümliche Geruch mit der Elektricitätsentwickelung in nothwendiger Verbindung steht, und dafs die Oxydation des Amalgams nicht absolute Bedingung hierzu sei, ergiebt sich aus Versuchen Davy's, welcher fand, dafs eine kleine Elektrisirmaschine im Wasserstoffgase, kohlensauren Gase u. dergl. eben so gut, und in letzterem Gase sogar mehr Elektricität als in der atmosphärischen Luft entwickele. Einer ebenfalls neueren Ansicht zufolge glaubt man, dafs die wahrscheinlichste Ursache dieser Elektricitätsquelle in der durch die Reibung erzeugten eigenthümlichen Molecularbewegung der Körpertheilchen zu suchen sei; jedoch auch diese Ansicht hat nicht die allgemeine Sanction erhalten, und es bleibt sonach noch der Zukunft vorbehalten, hierfür eine allgemein befriedigende und evidente Erklärung aufzufinden.

Schönbein hat in neuerer Zeit mehre Untersuchungen über den bei der Thätigkeit einer kräftigen Elektrisirmaschine bemerkbaren Geruch (§, 400, S. 798) angestellt, welcher sich noch auffallender bei'm Einschlagen des Blitzes und auch sehr deutlich bei'm Durchlöchern von Kartenblättern durch den Batterieſunken

zeigt (fünfter Versuch S. 833), den er aber auch bei der Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom wahrgenommen haben will, und glaubt, dafs dieses riechende Princip, welches er Ozon genannt hat, ein in der Luft und dem Wasser enthaltener Stoff sei, welcher unter gewissen Umständen aus beiden Körpern durch Elektricität frei werde, der aber bisher der Aufmerksamkeit der Chemiker noch entgangen sei. De la Rive dagegen ist der Meinung, dieser Geruch rühre von sehr zarten Metalltheilchen her, mit welchen sich das elektrische Fluidum belade, und die bei der Zersetzung des Wassers mit dem Sauerstoff in die Atmosphäre entwichen.

S. Poggendorf's Annal. L. S. 516, LIV. S. 402; Dove's Repert. d. Phys. VI. S. 186; aufserdem auch noch die verschiedenen Ansichten der Physiker hinsichtlich des Wesens der Elektricität überhaupt in Gehler's phys. Wrtb. n. A. III. S. 350—389.

III. Elektricität durch Berührung, Contact-Elektricität, Galvanismus, Voltaismus.

A. Von der aus der Berührung heterogener Körper entspringenden Elektricität überhaupt.

§. 506.

Der elektrische Neutralitätszustand in zwei heterogenen Körpern, welche gute Leiter der Elektricität sind, wird gestört, sobald sie in gegenseitige Berührung kommen. Trennt man diese Körper isolirt von einander, so zeigt sich der eine +, der andere — elektrisch, jedoch sind diese Spannungszustände oft so schwach, dafs ihr Vorhandensein dann nur durch Hilfe eines Condensators nachgewiesen werden kann.

Volta entdeckte (gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts) diese eigenthümliche Elektricitätserregung zuerst an den Metallen. Man überzeugt sich von der Richtigkeit dieser Thatsache durch den sogenannten Volta'schen Fundamental-Versuch, der auf folgende verschiedene Art angestellt werden kann.

Erster Versuch, mittels des Condensators zwei mit isolirten Griffen versehene, eben ganz

platten, die eine von Kupfer, die andere von Zink, und bringe sie isolirt mit ihren beiden Flächen in Berührung. Hierauf trenne man die Flächen eben so wieder und trage die frei gewordene Elektricität der einen Platte auf einen Condensator über (§. 494). Berührt man dann beide Platten ableitend mit der Hand, wiederholt die Berührung und Trennung derselben wie zuvor und trägt die wieder frei gewordene Elektricität derselben Platte auf den Condensator über, so zeigt sich dieser nach einer acht- bis zehnmaligen Wiederholung desselben Verfahrens mit Elektricität geladen, und zwar mit + Elektricität, wenn die Berührung mit der Zinkplatte, mit — Elektricität, wenn dieselbe mit der Kupferplatte vorgenommen wurde, was sich durch Mittheilung dieser gesammelten Elektricität an ein empfindliches Elektroskop zu erkennen giebt. — Um indefs nicht durch die Berührung der Platten mit dem Metalle des Condensators ebenfalls Elektricität zu erregen, wodurch der reine Erfolg der bloßen Berührung der beiden heterogenen Metalle verändert werden würde, legt man auf die Collector-Platte desselben ein naſs gemachtes Stückchen Fließpapier und berührt mit der Zink- oder Kupferplatte nicht das Metall der Platte, sondern nur dieses Papier, oder man gebraucht einen Condensator, dessen eine Collector-Platte aus Zink, die andere aus Kupfer besteht, und verwechselt diese so mit einander, daſs bei dem Uebertragen der Elektricität auf den Condensator immer nur gleichartige Metalle mit einander in Berührung kommen. — Noch wirksamer läſst sich aber hierbei der Doppelcondensator Peclet's anwenden (s. §. 494 S. 821).

Zweiter Versuch, ohne Condensator. Auf den Zuleiter eines Becquerel'schen Elektroskops oder eines hinlänglich empfindlichen Oersted'schen Elektrometers schraube man eine 2½ bis 3 Zoll im Durchmesser haltende, vollkommen ebene und metallisch reine Kupferplatte. Setzt man nun auf diese eine gleich groſse, ebenfalls metallisch reine Zinkscheibe, so werden durch die metallische Berührung beide Platten entgegengesetzt elektrisch; so lange diese aber in gegenseitiger Berührung bleiben, halten sich die ± Elektricitäten gebunden. — Hebt man nun die Zinkplatte mit dem an ihr befindlichen Glasstab isolirt und parallel von der Kupferplatte ab, so zeigt der elektroskopische Körper, daſs die Kupferplatte negativ elektrisch geworden ist. — Die + Elektricität der Zinkplatte kann man dann zugleich an einem andern daneben stehenden ähnlichen Elektroskop oder auch an demselben nachweisen, wenn man der Kupferplatte erst ihre — Elektricität entzieht und sie dann mit der Zinkplatte berührt, aber blos mit der Kante derselben, so daſs die durch die Berührung abermals erweckte — Elektricität in der Kupferplatte nicht in Betracht kommt. Man kann

aber auch die Berührung mit der ganzen Fläche vornehmen, nur mufs man nachher die Zinkplatte auf der Kupferplatte liegen lassen.

Schraubt man aber auf den Zuleiter des Elektroskops eine Zinkplatte und setzt auf diese eine Kupferscheibe, so zeigt sich dann der Zink eben so + elektrisch, sobald man die Kupferscheibe abhebt, und auf gleiche Weise läfst sich dann die im Kupfer frei gewordene —Elektricität nachweisen (s. Poggendorf's Annal. XXXI. 225).

Einige andere Verfahrungsarten, diesen Fundamentalversuch anzustellen, findet man beschrieben von Henrici, über die Elektricität der galvanischen Kette (1840) S. 7.

So mannigfacher Art auch die Erscheinungen der Berührungs-Elektricität sind und so verschiedenartige Wirkungen in der Natur aus ihnen entspringen, so blieben sie doch den Naturforschern noch lange Zeit, nachdem man die Erscheinungen der Reibungs-Elektricität ziemlich vollständig erforscht hatte, unbekannt, und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil ihre so äufserst schwachen Wirkungen sich nicht so leicht unmittelbar wahrnehmen lassen. Wie bei mancher andern Gelegenheit führte auch hier ein günstiger Zufall zu einer interessanten Wahrnehmung, welche die Veranlassung zu weiteren Forschungen wurde, die die glänzendsten und folgereichsten Entdeckungen bis zur gegenwärtigen Zeit herbeiführten. Der Professor Galvani zu Bologna bemerkte nämlich (1797), dafs, wenn er an dem Schenkel eines getödteten Frosches einen Nerv und einen Muskel mit zwei verschiedenartigen Metallen berührte und diese dann in Contact brachte, der Schenkel in Zuckungen gerieth. Der genannte Entdecker hielt diese Wirkung für eine dem thierischen Organismus eigenthümliche Potenz und nannte sie thierische Elektricität, so wie man sie auch jetzt noch dem Erfinder zu Ehren galvanische Elektricität oder Galvanismus zu nennen pflegt. Volta bewies aber bald nachher durch Hilfe seines erfundenen Condensators, dafs diese Elektricität keineswegs als eine eigenthümliche Potenz im thierischen Organismus vorhanden sei, sondern aus der Berührung der beiden Metalle entspringe, und dafs die Muskeln und Nerven des Thieres gleichsam nur das empfindliche Elektroskop für die frei werdende Elektricität abgeben. Diese Theorie leitete ihn zu den wichtigsten Entdeckungen, und im Jahr 1800 zur Construction eines der merkwürdigsten Apparate, der Volta'schen Säule (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 556—575).

§. 507.

Gewöhnli[illegible] man die auf solche Weise in Kör-

[illegible] auch V[illegible] gethan, elektro-

motorische Kraft, und solche Körper, an welchen sie durch gegenseitige Berührung zum Vorschein kommt, Elektromotoren (Elektricitäts-Erreger oder Elektricitäts-Beweger).

Die Stärke und die Art der Elektricität, welche jeder von zwei Elektromotoren annimmt, ist aber bei der verschiedenartigen Combination derselben nicht gleich. Nach den darüber von mehren Physikern angestellten Versuchen hat sich ergeben, dafs sich sämmtliche Elektromotoren in eine solche Reihe ordnen lassen, wo der erste in derselben mit allen ihm folgenden +, diese aber sämmtlich — elektrisch werden, dafs gerade das Entgegengesetzte von dem letzten Elektrometer der Reihe gilt, dafs dieser selbst nur — elektrisch wird, während alle ihm vorangehenden sich + elektrisch verhalten, dafs alle zwischen diesen beiden in der Reihe stehenden Elektrometern sowohl + als auch — elektrisch werden können, und zwar + mit allen ihnen in der Reihe nachstehenden, — aber mit allen ihnen vorangehenden, und dafs endlich der zwischen sich berührenden Elektromotoren eintretende Spannungsunterschied um so gröfser ist, je weiter dieselben in der Reihe von einander entfernt sind. Diese Reihenfolge der Körper ist die sogenannte elektromotorische Spannungsreihe, und nach den Resultaten, wie sie sich bei Anwendung eines Condensators und genauen Elektrometers ergeben haben, findet man sie nachfolgend mit Bezeichnung der Naturforscher, welche diese Untersuchungen anstellten, zusammengeordnet.

Volta.

\+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Graphit, verschiedene Kohlenarten, krystallisirter Braunstein —.

Pfaff.

\+ Zink, Blei, Kadmium, Zinn, Eisen, Wismuth, Kobalt, Arsenik, Kupfer, Antimon, Platin, Gold, Quecksilber, Silber, Kohle, Glaserz, Schwefelkies, Kupferglanzerz, Kupferkies,

Bleiglanz, Zinngraupen, Kupfernickel, Arsenikkies, Wasserblei, Uranoxydul, Pecherz, Titanoxyd, Graphyt, Wolfram, Schrifterz, krystallisirter Braunstein, Bleihyperoxyd (?) —.

Henrici.

+ Zink, Blei, Zinn, Antimon, Wismuth, Eisen, Messing, Kupfer, Silber, Quecksilber, Gold, Platin —.

Peclet.

+ Zink, Blei, Zinn, Wismuth, Antimon, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin —.

Diese Spannungsreihe ändert sich aber auffallend durch Temperaturerhöhung, Anlaufen der Oberfläche der Metalle, am meisten aber durch fremdartige, selbst ganz geringe Beimengungen. In Bezug auf das Zink ist noch zu bemerken, dafs dasselbe durch Amalgamation beträchtlich positiver wird.

Jene Versuche lassen sich aber auch ohne Condensator mit sicherem Erfolge anstellen, wenn man sich eines Becquerel'schen Elektroskops oder noch besser eines hinlänglich empfindlichen Elektrometers nach Oersted's Construction (§. 485) bedient. Aus der Gröfse der Ablenkung der Nadel des letzteren Instruments läfst sich dann mit ziemlicher Genauigkeit der elektromotorische Spannungsunterschied je zweier Elektromotoren vergleichen. Die einer solchen Prüfung zu unterwerfenden Metalle sind Kreisplatten von 2 bis 3 Zoll Durchmesser und wenigstens 2 Linien Stärke. Da Silber-, Gold- und Platinplatten von diesen Dimensionen zu kostbar sein würden, so lassen sich dieselben durch Messingscheiben vertreten, welche galvanisch versilbert, vergoldet und verplatinirt sind (§. 524). Jede dieser Platten hat auf einer Seite in ihrer Mitte ein Schraubenloch, um sie damit sowohl auf dem Zuleiter des Elektrometers befestigen, als auch zu ihrer Isolirung einen Glasstiel einschrauben zu können. Uebrigens müssen sämmtliche Platten möglichst eben geschliffen und auf ihren Flächen vollkommen metallisch rein sein. Die Zink- oder die platinirte Platte schraubt man dann, weil sie die äufsersten Glieder der Spannungsreihe der Metalle sind, auf den Zuleiter des Elektrometers und bringt hierauf die übrigen eben so, wie es bei dem zweiten Versuche des vorigen Paragraphen beschrieben wurde, mit jener aufgeschraubten Platte in Contact. Will man zwei beliebige Metalle aus der Spannungsreihe untersuchen, z. B. Eisen und Silber, so ist es nur nöthig, eine der beiden Platten auf die Zuleiterplatte zu legen und die andere isolirt auf sie zu setzen.

...rige Elektromotoren zu
...s gebracht, z. B.

A mit *B* und *B* mit *Z*, so hat sich dabei das merkwürdige Ergebniſs herausgestellt, daſs, welcher Elektromotor *B* aus der Spannungsreihe auch sein mag, das Glied *A* sich dann allemal in der Art und Stärke elektrisch zeigt, als wenn es, ohne daſs *B* eingeschaltet worden, *Z* unmittelbar berührt hätte. Auch dann, wenn statt *B* eine beliebige Anzahl verschiedenartiger oder gleichartiger Elektromotoren auf dieselbe Weise zwischen *A* und *Z* eingeschaltet werden, z. B. *A*, *B*, *C*, *D* .... *Z*, wird doch immer die Art und Stärke der Elektricität von *A* dieselbe bleiben, als wenn er mit *Z* unmittelbar in Contact stände.

Nehmen wir beispielweise an, der relative Spannungsunterschied zwischen *A* und *B* sei = 5, zwischen *B* und *C* = 1, zwischen *C* und *D* = 3, zwischen *D* und *Z* = 7, so ist dann der Spannungsunterschied je zweier Glieder der Reihe allemal genau gleich der Summe der Abstände der Zwischenglieder. Hiernach wird er zwischen *A* und *C* 5 + 1 = 6, zwischen *C* und *Z* = 3 + 7 = 10 und zwischen *A* und *Z* 5 + 1 + 3 + 7 = 16 sein.

§. 508.

Aber nicht allein zwischen festen Leitern der Elektricität, sondern auch zwischen diesen und leitenden Flüssigkeiten tritt eine Erregung der elektromotorischen Kraft ein. Was die Art der elektrischen Erregung betrifft, mit welcher die verschiedenen Metalle bei ihrem Contact mit verschiedenen Flüssigkeiten auftreten, so haben die von Pfaff darüber angestellten zahlreichen Versuche folgende Resultate ergeben:

1.) Die alkalischen Flüssigkeiten, wie Aetzkali, Aetznatron, Ammoniak, versetzen im Allgemeinen die Metalle in einen negativ elektrischen Spannungszustand, und zwar in einem um so stärkeren Verhältnisse, je näher die Metalle dem positiven Ende ihrer Spannungsreihe liegen, doch ohne daſs diese Ordnung in aller Strenge

stattfindet. In diesen Flüssigkeiten zeigen sich nämlich Zinn, Antimon, Zink ... als die stärksten, ... Platin, Wismuth und Silber als die schwächsten Elektromotoren.

2.) Concentrirte Säuren, wie Salpetersäure, Schwefelsäure etc., ertheilen den Metallen die entgegengesetzte, nämlich positiv elektrische Spannung; namentlich werden durch die concentrirte Salpetersäure alle Metalle ohne Ausnahme positiv angeregt. In dieser Säure sind Stahl, Gufseisen, reines Eisen und Platin die stärksten, Zink der schwächste Elektromotor. Gegen die concentrirte Schwefelsäure aber theilen sie sich in zwei Abtheilungen, indem die dem negativen Ende der Spannungsreihe näher gelegenen Metalle, als: Gold, Platin, Kupfer, positiv, die übrigen Metalle dagegen, und zwar Antimon, Zinn und Zink, negativ elektrisch werden. Das Verhalten der concentrirten Hydrochlorsäure (Salzsäure) ist im Allgemeinen dasselbe.

3.) In verdünnten Säuren und Auflösungen schwerer Metallsalze stimmt ihre elektrische Erregung meist mit der Spannungsreihe der Metalle unter einander überein. Sie zeigen sich gegen diese Flüssigkeiten sämmtlich negativ elektrisch, und zwar nach dem merkwürdigen Gesetze, dafs die mehr positiven Metalle am stärkstennegativ, die negativen viel weniger negativ werden, also gleichsam schon eine Tendenz haben, mehr positiv aufzutreten, und dafs die negativsten unter ihnen eine positive Spannung wirklich annehmen. Nur die Schwefelalkalilösungen zeigen die besondere Anomalie, dafs mit ihnen gerade die negativen Metalle auch am stärksten negativ werden.

Bei allen diesen aufgeführten Hauptfällen ergab sich, dafs die Flüssigkeiten gerade den entgegengesetzten Spannungszustand erhalten, wie das Metall, welches in sie

eingetaucht wurde, und stets in einer, jener Erregung entsprechenden Stärke.

4.) In den meisten Flüssigkeiten zeigen auch die meisten Metalle stets die gleiche Erregung, jedoch nimmt der anfängliche Spannungsunterschied bei solchen Metallen ab, deren Oberflächen durch die Flüssigkeiten chemisch verändert werden, und verwandelt sich endlich in den entgegengesetzten.

Die Versuche, welche Pfaff, der sich um die Naturwissenschaft so vielfach verdient gemacht hat, zu jenen Resultaten führten, wurden von ihm auf verschiedene Art angestellt, indem er z. B. Streifen der verschiedenen Metalle nahm, auf diese gleichgeformte Pappstücke legte, die mit der zu prüfenden Flüssigkeit getränkt waren, und nun die blos zuleitende Verbindung des Metalls mit der Collectorplatte des Condensators dadurch vermittelte, dafs er ein Stück mit destillirtem Wasser getränktes Fliefspapier unterlegte, während die obere Pappscheibe ableitend berührt wurde; oder er wendete Vförmige Röhren an, welche die zu prüfende Flüssigkeit enthielten, brachte in den einen Schenkel den Metallstreif, in den andern ein Holzstäbchen oder Papierstreifchen, und setzte dann theils das Metall, theils das Holzstäbchen oder Papierstreifchen mit dem Condensator in leitende Verbindung, während allemal für eine ableitende Verbindung des anderen Körpers gesorgt war. (S. Pfaff's Revision des Galvano-Voltaismus S. 45–65 und Poggendorf's Annal. LI. S. 119—125 u. 197—210.)

Aus vielfachen Versuchen hat sich ferner noch ergeben, dafs auch Flüssigkeiten auf einander ganz so, wie bei ihrer Berührung mit Metallen und diese unter sich elektrisch wirken, und zwar findet dieſs nicht allein bei den Flüssigkeiten statt, welche eine chemische Action auf einander ausüben, sondern auch bei solchen, die in dieser Hinsicht indifferent zu einander sind, wonach anzunehmen ist, dafs diese Flüssigkeiten ebenfalls unter dem Gesetze der elektrischen Spannungsreihe zu einander stehen. Es sind aber die zwischen heterogenen Flüssigkeiten eintretenden Spannungsunterschiede so schwach, dafs ihr Vorhandensein nur nach den elektrischen Strömen, welche daraus

entspringen, gefolgert werden kann. Professor Fechner, der sich so vielfach durch seine Untersuchungen über die Theorie der elektrischen Erscheinungen auszeichnete, hat auch diefs zuerst durch sorgfältige Versuche, bei welchen alle andern störenden Einwirkungen vermieden wurden, nachgewiesen.

S. Poggendorf's Annal. XLVIII. S. 1 u. 125, Berzelius, Jahrb. XX. S. 73, und Henrici's Elektricität d. galv. Kette S. 24.

§. 509.

Aus dem Vorangehenden ergiebt sich, dafs die Metalle bei der Berührung mit verschiedenen Flüssigkeiten eine Aenderung in ihrem relativen elektromotorischen Vermögen erleiden, dafs diese Aenderung nicht bei allen Metallen gleich bedeutend und namentlich von der Qualität der Flüssigkeit abhängig ist. Hiernach, glaubt Martens (s. Poggendorf's Annal. LV. S. 618), sei anzunehmen, dafs Flüssigkeiten nicht eigentlich als Elektromotoren, sondern als Modificatoren der elektromotorischen Kraft der in sie eingetauchten Metalle zu betrachten wären, so dafs ihre Wirkung bald erhöhend, bald vermindernd in Bezug auf die erregte elektrische Spannung werden könne, je nachdem sie auf zwei Metalle in gleichem oder entgegengesetztem Sinne, wie der Contact dieser Metalle, unter sich wirken.

Fragt man nun, was wohl die Ursache zu diesen Modificationen sein kann, so zeigt es sich allerdings, dafs die Flüssigkeiten, die am stärksten chemisch auf die Metalle einwirken, im Allgemeinen auch deren elektromotorische Fähigkeit am kräftigsten abzuändern scheinen, wogegen es aber auch Fälle giebt, wo der bloſse Contact einer Flüssigkeit ohne chemische Action schon hinreicht, den elektromotorischen Zustand eines Metalls bedeutend zu ändern.

Einen ähnlichen Einfluſs hat man auch bei der Berührung mancher Metalle mit Gasen wahrgenommen. Vorzüglich gilt dieſs vom Platin, welches vom Wasserstoff in einen positiveren, vom Brom- und Chlorgas in einen negativeren Zustand versetzt wird (s. Berzelius, Jahrb. XIX. S. 121, XX. S. 89).

Die durch solchen Contact hervorgerufene elektromotorische Tendenz zeigt sich bei einigen Metallen mit der Dauer der Berührung wachsend und auch noch einige Zeit an ihnen haftend, wenn die Ursache, die diese Aenderung hervorbrachte, nicht mehr vorhanden ist. Man nennt diesen veränderten elektromotorischen Zustand der Metalle ihre elektrische Polarisation. Metalle, die in der Berührung mit einigen Flüssigkeiten besonders stark polarisirt werden, sind Eisen und Platin. In alkalischen Flüssigkeiten werden beide mit der Dauer des Eintauchens immer positiver, und bei'm Platin tritt eine solche Polarisation auch dann ein, wenn seine, in der Flüssigkeit stehende Oberfläche mit Wasserstoffgas in Berührung kommt, oder wenn es, wie vorher schon angeführt worden ist, eine Zeit lang in dieses Gas eingetaucht wurde.

Ein ganz eigenthümliches Verhalten zeigt das Eisen auch noch im Contact mit einigen andern Flüssigkeiten. Während dieſs Metall nämlich in verdünnten Säuren eine elektromotorische Spannung erhält, die seiner Stelle in der metallischen Spannungsreihe entspricht, nimmt es in concentrirter Salpetersäure und nach Martens auch in concentrirter Essigsäure, so wie im Alkohol, eine so beträchtliche Spannung an, daſs es sich, mit Platin combinirt, fast eben so stark elektrisch zeigt wie dieses. Dabei verändert das Eisen zugleich sein chemisches Verhalten zu vielen Flüssigkeiten, indem es nach erlangter Polarisation z. B. von verdünnter Salpetersäure nicht mehr angegriffen wird

und eben so wenig auch zersetzend auf Kupferlösungen einwirkt, kurz sich ganz indifferent wie die edelsten Metalle (§. 77) erweist oder, wie Schönbein sagt, welcher das Eisen in dieser Beziehung vielfach geprüft hat, ganz passiv geworden ist.

S. Poggendorf's Annal. XXXVII. S. 390, 590, XXXVIII. S. 444, 492, XXXIX. S. 137, 342, XLIII. S. 1, 13, LV. S. 437, LVII. S. 35, und Henrici's Elektricität der galv. Kette. S. 71.

B. Von den verschiedenen Arten elektrischer Ketten.

§. 510.

Wenn zwei heterogene Metalle gemeinschaftlich eine erregende Flüssigkeit berühren, indem man sie z. B. in einem Gefäfse, worin sich die Flüssigkeit befindet, einander gegenüber stellt, oder zwischen beide Metalle eine mit der Flüssigkeit getränkte Tuch- oder Pappscheibe legt, so werden beide in elektrischen Spannungszustand, aber von ungleicher Stärke versetzt, und zwar nimmt der stärkere Elektromotor eine gröfsere Spannung an, wobei der Spannungsunterschied um so beträchtlicher wird, je weiter die beiden Metalle in der Spannungsreihe für die angewendete Flüssigkeit aus einander stehen. Wird in diesem Zustande der stärkere Elektromotor ableitend berührt, so tritt dann das relativ schwächere Metall mit entgegengesetzt elektrischer Spannung auf, welches sein aus der Flüssigkeit hervorragendes Ende am Condensator zu erkennen giebt. Deutliche Beweise hievon geben Kupfer, Silber, Platin, wenn sie mit Zinn, Blei, besonders aber mit Zink, in verdünnte Säuren oder Salzlösungen zusammengebracht werden, wo sich dann Kupfer, Silber, Platin positiv elektrisch zeigen, während Zinn, Blei und Zink negativ elektrisch bleiben. Die positive Spannung entspricht in diesem Falle dem negativen Spannungsunterschiede, welcher zwischen den beiden eingetauchten Metallen stattfindet. Berührt man dagegen

das schwächere elektrische Metall ableitend, so zeigt das stärkere, am Condensator geprüft, noch seine ursprünglich angenommene Elektricität, jedoch in vermindertem Grade, und in einer Stärke, die gleichfalls mit der elektromotorischen Spannungsdifferenz beider Metalle übereinstimmt (§. 508, 3) (a). Bringt man zwei Streifen desselben Metalls in eine Flüssigkeit, so werden beide gleich stark elektrisch, und es kann sich dann zwischen ihnen kein Spannungsunterschied zeigen (b). Wirkt aber die erregende Flüssigkeit auf das in sie getauchte Metall polarisirend ein, so erhält man auch mit demselben Metalle eine wirksame Kette, sobald die eine Metallplatte eher als die andere in die Flüssigkeit gebracht wird, wie dieſs z. B. beim Eisen und Platin in Berührung mit Aetzkalilösung der Fall ist. In dem Maſse jedoch, wie in dem später eingetauchten Metallstücke die ebenfalls eintretende Polarisirung zunimmt, vermindert sich auch die Spannungsdifferenz, die im Augenblicke des Eintauchens vorhanden war, bis sie endlich nach einiger Zeit gänzlich verschwindet. Begreiflicher Weise muſs aber der zwischen zwei Metallen eintretende Spannungsunterschied noch gröſser ausfallen, wenn die Flüssigkeit, in welche sie gestellt wurden, das eine Metall in einen negativen, das andere in einen positiven Zustand versetzt, wie dieſs z. B. der Fall ist, wenn Zink und Kupfer in concentrirte Schwefelsäure zu stehen kommen (§. 508, 2). Als Schema solcher Combinationen kann die Figur 313 dienen, in welcher Kupfer (Cu) und Zink (Zn) gemeinschaftlich in die Säure (S̈) eingetaucht wären. Aus gleichen Ursachen muſs aber auch zwischen zwei homogenen Metallen ein entgegengesetzt elektrischer Spannungszustand entstehen, wenn diese in zwei verschiedene elektromotorische Flüssigkeiten, die unter einander in leitender Verbindung stehen, gebracht werden, sobald das Metall in

der einen Flüssigkeit negativ, in der anderen positiv elektrisch wird, wie dieſs beispielweise der Fall ist, wenn man ein Stück Platin in eine alkalische Lösung und ein anderes in concentrirte Salpetersäure bringt, oder wenn dasselbe mit zwei Eisenplatten geschieht, von welchen die eine in Schwefelsäure, die andere in concentrirter Salpetersäure steht (c) (§. 508 1 u. 2), wozu die Fig. 314 als versinnlichendes Schema dienen kann, in welchem *Pt* das Platin, *A* das Alkali, *S* die Säure und *ab* die die Flüssigkeit trennende poröse und dadurch leitende Scheidewand bedeutet. Die stärkste elektromotorische Erregung erhält man aber bei Anwendung zweier heterogener Metalle und zweier dergleichen Flüssigkeiten, und zwar dann, wenn man das eine Metall in die Flüssigkeit bringt, worin dasselbe am stärksten negativ, das andere in die, wo es am stärksten positiv wird, während die Flüssigkeiten unter sich durch eine poröse Scheidewand in leitender Verbindung stehen. Eine solche Zusammensetzung wird erhalten, wenn man z. B. Platin (Pt) in concentrirte Salpetersäure ($\ddot{N}$), Zink (Zn) in concentrirte Schwefelsäure ($\ddot{S}$) setzt, wie Fig. 315 als Schema darstellt (d).

(a) Gesetzt, es würden Kupfer und Zink gemeinschaftlich in eine verdünnte Säure gestellt und das Zink erhielte als stärkerer Elektromotor die Spannung -3, das Kupfer aber nur die -1, so findet zwischen beiden ein Spannungsunterschied $= 2$ statt. Wird das Zink ableitend berührt, so zeigt das Kupfer am Condensator eine Spannung von $+3-1=+2$; erfolgt die Ableitung am Kupfer, so erhält das Zink eine Spannung von $+1-3=-2$.

(b) Stellt man zwei Zink- oder Kupferstreifen in dieselbe Säure, so ist die Gröſse der Spannung jedes Zinkstreifs -3, die jeden Kupferstreifs -1, mithin die Spannungsdifferenz in beiden Fällen $+3-3$ oder $+1-1$ stets Null.

(c) Wird dagegen eine Eisenplatte in Schwefelsäure und eine andere in concentrirte Salpetersäure gebracht, so wird eine negative Spannung, vielleicht von -2, die and positive, etwa von $+4$, annehmen, und dann wäre die z

diesen beiden homogenen Metallen vorhandene Spannungsdifferenz = 6. Findet zwischen den beiden Flüssigkeiten eine leitende Verbindung statt, so zeigt nachher das in der Salpetersäure stehende Eisen am Condensator, wenn das in der Schwefelsäure stehende mit der Erde verbunden ist, eine positive Spannung von + 4 + 2 = + 6, bei umgekehrter Ableitung aber das in der Schwefelsäure stehende eine Spannung von — 2 — 4 = — 6.

(d) Auf gleiche Weise ergiebt sich auch die resultirende Spannung bei Combinationen aus zwei heterogenen Elektromotoren mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten, wie z. B. bei Zink mit Schwefelsäure und bei Platin mit Salpetersäure. Beträgt in dem gewählten Beispiele die Erregung des Zinks — 3, die des Platins + 5, so ist der zwischen beiden Metallen vorhandene Spannungsunterschied 8, und bei ableitender Berührung des Zinks mufs das Platin eine positive Spannung von 5 + 3 = + 8, das Zink dagegen, wenn die Ableitung am Platin stattfindet, eine negative Spannung von — 3 — 5 = — 8 zeigen. Es lassen sich aber auch solche Ketten so combiniren, dafs die beiden heterogenen Elektromotoren durch die Flüssigkeiten, in welchen sie stehen, eine gleichnamige und gleich starke Erregung erhalten; dann besitzt zwar jeder Elektromotor für sich die entsprechende Spannung, der zwischen beiden vorhandene Spannungsunterschied ist aber in einem solchen Falle gleich Null, wie dieſs z. B. eintritt, wenn Zink in eine verdünnte Säure und Platin in eine Schwefelalkalilösung getaucht wird.

Die zwischen zwei in einer Flüssigkeit eingetauchten Elektromotoren eintretende Spannungs-Differenz hat man auch durch die Annahme zu erklären gesucht, dafs die in jenen durch die Berührung mit der Flüssigkeit ursprünglich erregte Elektricität vertheilend oder polarisirend auf die zwischen ihnen liegenden Flüssigkeitstheilchen einwirke, und zwar in der Art, dafs jedes solches Theilchen nach der dem elektrisch erregten Metalle zugekehrten Seite eine eben so starke entgegengesetzte Elektricität, nach der davon abgewendeten aber die gleichnamige und gleich starke Elektricität annehme, so dafs das Ende in der Flüssigkeitskette, welches die andere Metallfläche berührt, in dieser die entgegengesetzte Spannung oder Polarisation erzeuge, was sich durch die Fig. 316 versinnlichen läfst, in welcher Zn eine Zink-, Cu eine Kupferplatte vorstellte, welche durch die als Kreise dargestellten Flüssigkeitstheilchen mit einander in Verbindung ständen. Betrüge die im Zink allein durch die Flüssigkeit erregte Spannung — 3, so würde die von ihr in letzterer hervorgebrachte Polarisation durch die unten in den Kreisen angegebenen Zahlen dargestellt sein. Wäre dagegen die durch dieselbe Flüssigkeit im Kupfer allein hervorgebrachte Spannung — 1, so würden die obern Zahlen in den Kreisen die von

diesem Metalle ausgehende Polarisation repräsentiren, und das Resultat beider inducirenden Elektricitäts-Wirkungen ergäbe, dafs die Spannung des Zinks — 2, die des Kupfers + 2 werden würde. — Die Fig. 317 stellt dasselbe für eine Zink-Platinkette nach der schon angegebenen Combination mit Schwefel- und Salpetersäure dar, wo das Zink negative und das Platin positive Elektricität annimmt.

Solche Combinationen starrer Elektromotoren und flüssiger Erreger nennt man einfache hydroelektrische oder Volta'sche Ketten. Nach dem vorher Angeführten ist man von ihnen drei Hauptarten zu unterscheiden, nämlich:

1.) Ketten von zwei heterogenen Elektromotoren und einer erregenden Flüssigkeit. Es sind dies die zuerst schon von Volta ausgeführten und die bis in neuesten Zeit fast allein in Anwendung gekommenen. Gewöhnlich werden dazu als Elektromotoren Zink und Kupfer genommen, und als flüssiger Erreger wird entweder eine verdünnte Säure oder Salzlösung angewendet.

2.) Ketten von einem homogenen Metalle und zwei heterogenen Flüssigkeiten. Zu ihnen gehört die von Becquerel angegebene sogenannte hydroelektrische Kette, bei welcher Platin (nach dem Schema Fig. 314) sowohl mit Aetzkalilauge, als auch mit concentrirter Salpetersäure in Contact gebracht wird (s. Poggendorf's Annal. XL. S. 67, XLIV. S. 542) und die von Weber und Wöhler auf ähnliche Weise aus Eisen zusammengesetzten Ketten, bei welchen dieses Metall einerseits in Schwefelsäure, anderseits in concentrirte Salpetersäure getaucht wird. Die bei der Becquerel'schen Kette eintretende Spannungs-Differenz ist weit geringer als bei den unter 1.) angeführten, und sie haben bis jetzt nur zum Beweise gedient, dafs durch Berührung mit heterogenen Flüssigkeiten ein elektrischer Spannungszustand eintritt, eine anderweite Benutzung derselben hat aber bis jetzt

nicht stattgefunden (Fechner's Repert. d. Phys. I. S. 452). Anders aber verhält sich dieſs bei den angeführten Eisenketten, indem diese durch die Polarisation des Eisens in der concentrirten Salpetersäure eine sehr bedeutende Spannung zeigen (s. Erdmann u. Marchand, Journ. f. prakt. Chem. XXIII. S. 313, und Annal. d. Chem. u. Pharm. XXXVIII. S. 307).

3.) Ketten, combinirt aus zwei heterogenen Elektromotoren und zwei verschiedenen Flüssigkeiten. Diese sind eine Erfindung der neuesten Zeit und von allen die wirksamsten, d. h. die, durch welche der gröfste Spannungsunterschied zwischen den Elektromotoren hervorgebracht werden kann. Es gehören zu ihnen die Daniell'sche Zink-Kupferkette, wo das Zink mit Schwefelsäure und das Kupfer mit schwefelsaurer Kupferlösung in Contact steht, die Grove'sche Zink-Platinkette, die Sturgeon'sche Zink-Eisenkette und die Bunsen'sche Zink-Kohlenkette, bei welchen für das Zink ebenfalls Schwefelsäure, für das Platin, Eisen und die Kohle aber concentrirte Salpetersäure in Anwendung kommt.

Die Construction dieser Ketten kann auf sehr verschiedene Weise ausgeführt werden, und hiernach erhalten sie meist auch noch besondere Benennungen.

1.) Ketten mit einer erregenden Flüssigkeit. Die Volta'sche Kette besteht aus gleich grofsen Kupfer- und Zinkplatten, zwischen welche eben so grofse mit der erregenden Flüssigkeit getränkte Tuch- oder Pappscheiben gelegt werden.

Bei den Wollastone'schen Ketten wird, wie Fig. 318 zeigt, die Zinkplatte von einer Kupferplatte in einem Abstande von etwa ¼ Zoll, jedoch ohne diese unmittelbar zu berühren, umschlossen. Ein solches Plattenpaar stellt man dann in ein Gefäfs, worin sich die erregende Flüssigkeit befindet.

Der Oerstedt'sche Trogapparat ist im Wesentlichen der vorigen Kette ähnlich. Er besteht nämlich aus einem parallelepipedischen Kupferblechtroge mit Boden von etwa ½ Zoll

Weite, worein die Zinkplatte vom Kupfer getrennt zu stehen kommt und der zugleich zur Aufnahme der erregenden Flüssigkeit dient.

Die Schnecken- oder Spiralkette von Hare Fig. 319 besteht aus zwei gleich langen Zink- und Kupferplatten, welche spiralförmig so zusammengerollt sind, dafs sie unter sich ungefähr ¼ Zoll Abstand haben. Die Befestigung und parallele Lage verschafft man den Spiralen durch ein unten und oben über sie weggreifendes hölzernes Kreuz mit entsprechenden Einschnitten oder kleinen hölzernen Zapfen. Beide Kreuze haben eine gemeinschaftliche Axe, oben mit einem Handgriffe versehen, und an jeder der beiden Metallplatten ist ein Quecksilbernäpfchen (+ —) angebracht. Diese Combination kommt dann in einen etwas gröfseren Glascylinder zu stehen, welcher die erregende Flüssigkeit enthält. Es besitzen diese Apparate hauptsächlich den Vortheil, dafs bei ihnen sehr grofse Metallplatten angewendet werden können, ohne dafs dazu viel Raum erfordert wird.

Für stärkere Wirkungen kann man bei diesen Ketten nach Faraday ein Gemenge von 200 Theilen Wasser, 4½ Theilen Schwefelsäure und 4 Theilen Salpetersäure, für schwächere, aber ausdauernde Wirkungen eine Kochsalzlösung oder eine mit 20—30 Theilen Wasser gemengte Schwefelsäure anwenden, und ihre elektromotorische Kraft wird gröfser und constanter, sobald man die Zinkplatten amalgamirt *). — Noch einige andere mit der Amalgamation des Zinks verbundene Vortheile findet man angeführt in Dove's Repert. d. Phys. I. S. 178.

2.) Ketten mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten. Bei diesen müssen die erregenden Flüssigkeiten in leitender Verbindung stehen, ohne sich aber vermischen zu können. Sie werden deshalb von einander durch eine poröse Scheidewand, die in Folge dieser Eigenschaft leitend wirkt, getrennt. Am vortheilhaftesten eignen sich dazu von feinem Thon schwach ge-

*) Das Amalgamiren des Zinks geschieht am befsten und wohlfeilsten auf folgende Art. Die rohen Zinkplatten werden zuerst in eine ungefähr mit 6—8 Theilen Wasser verdünnte Schwefelsäure so lange eingetaucht, bis die dünne Oxydhaut aufgelöst ist, dann mit Wasser abgespült und hierauf in eine verdünnte salpetersaure Quecksilberoxydul- oder Oxydlösung mit etwas vorwaltender Säure gebracht. Nach kurzer Zeit bildet sich auf der Oberfläche ein ganz gleichförmiges Zinkamalgam, welches nicht so viel Quecksilber consumirt, als wenn dieſs regulinisch auf die Platten gebracht wird. Sobald man sieht, dafs die Oberfläche des Zinks überall mit Quecksilber überzogen ist, werden die Platten mit Wasser abgewaschen und am befsten mit Sägespänen abgerieben.

brannte, dünne cylindrische Zellen mit Boden. Diese werden in ein um ungefähr 1 bis 1½ Zoll weiteres Cylinderglas gestellt, wo dann die Thonzelle zur Aufnahme des einen Elektromotors mit seiner entsprechenden Flüssigkeit, das Glas zur Aufnahme des anderen mit seiner Flüssigkeit dient, und wobei noch zu berücksichtigen ist, dafs beide Elektromotoren nur einen Abstand von ¼—½ Zoll von den Wandungen der Thonzelle erhalten.

Die vortheilhafteste Combination der Daniell'schen Kette stellt Fig. 320 im Durchschnitt dar. *kk* ist ein Cylinder von Kupferblech mit Boden, welcher sich oben, wie *ab* und *de* zeigt, etwas erweitert, und der zugleich mit die Stelle des Cylinderglases vertritt. *tt* ist die poröse Thonzelle, in welche der amalgamirte Zinkcylinder zu stehen kommt. In den Kupfercylinder gieſst man eine gesättigte schwefelsaure Kupferlösung, und um diese bei einer längeren Dauer der Versuche immer concentrirt zu erhalten, wird ein aus Messingdraht zickzackförmig gebogener, in Fig. 320ª in der oberen Ansicht dargestellter Ring, der den Thoncylinder gerade umschlieſst und bei *b* und *c* sein Auflager erhält, in den Kupfercylinder gebracht, um auf ihn die erforderliche Quantität schwefelsaurer Kupferkrystalle legen zu können, welche von der Flüssigkeit in dem Maſse aufgelöst werden, wie sie während ihrer Wirksamkeit geschwächt wird. Die erregende Flüssigkeit für den in der Thonzelle stehenden Zinkcylinder ist verdünnte Schwefelsäure; für starke Wirkungen 1 Theil concentrirte Schwefelsäure und 4 bis 9 Theile Wasser, für schwächere aber 50 bis 100 Theile des letzteren.

Bei den Grove'schen Ketten Fig. 321 kommt der amalgamirte Zinkcylinder *zz* in das Glasgefäſs zu stehen, worin sich die Thonzelle *tt* zur Aufnahme des Platins befindet. Am vortheilhaftesten ist es, dazu Platinblech anzuwenden, welches man der Kostenersparniſs wegen ganz schwach nehmen kann (bei Luhme in Berlin ist dasselbe bis zu 0,05 und 0,04^{mm} Stärke zu haben, von welchem der Par. Quad. Zoll ungefähr 6 Sgr. kostet). Will man dabei eine gröſsere Platinfläche und zugleich die Wirksamkeit beider Seiten benutzen, so ist die dazu von Grüel angegebene Form zu empfehlen (Poggendorf's Annal. LI. S. 318). Das Platinblech wird nämlich dann fächerförmig zu vier oder sechs Flügeln, wie Fig. 321 zeigt, durch einige Platinnieden verbunden, welche oberhalb eine gemeinschaftliche Leitung erhalten. Für eine geringere Gröſse der erregenden Fläche ist es aber einfacher, wie Poggendorf empfiehlt, eine Platte, die ungefähr um die Hälfte breiter als der Durchmesser der Thonzelle ist, in die Form eines S zu biegen, so dafs sie dann gerade in die Zelle geht, wobei eine weitere Zerschneidung und Verbindung des Platinblechs, mit Ausnahme des Leiters,

nicht nothwendig wird (Poggendorf's Annal. LIV. S. 425). Die von Pfaff statt des Platinblechs empfohlenen platinirten Porzellancylinder (Poggendorf's Annal. LIII. S. 303), die allerdings etwas wohlfeiler als dünnes Platinblech sind, sowohl solche von der Porzellanfabrik in Copenhagen als auch von der in Meifsen, habe ich weniger wirksam als gleich grofse Flächen von Platin gefunden. Als erregende Flüssigkeit für den Zink wird zu energischen Wirkungen ebenfalls eine mit 4—9 Theilen Wasser verdünnte Schwefelsäure und für das Platin eine Salpetersäure von 1,33 spec. Gew. angewendet.

Bei den Bunsen'schen Ketten ist das immer kostbar bleibende Platin durch Kohle ersetzt. Schon vor längerer Zeit wurde es zwar versucht, sowohl den natürlich vorkommenden Graphit, als auch die in Steinkohlengasretorten sich erzeugende Kohlen- oder Graphitmasse zu diesem Zwecke anzuwenden, allein die Schwierigkeit, diese Stoffe in beliebiger Gröfse und zweckmäfsiger Form zu erhalten und zu bearbeiten, trat dieser Verwendung hindernd entgegen. Dem Professor Bunsen ist es aber gelungen, durch heftiges Glühen eines Gemenges von Coaks- und Steinkohlenpulver eine poröse, dabei aber sehr feste, in Beziehung auf ihre Leitfähigkeit und elektromotorische Kraft selbst das Platin unter Umständen noch übertreffende Kohlenmasse zu erzeugen, die sich sehr leicht bearbeiten und in die, für die speciellen Zwecke ihrer Anwendung geeignete Form bringen läfst. Bunsen giebt verschiedene Constructionen der damit zu bildenden Ketten an. Eine der einfachsten, die hinsichtlich ihrer Zusammenstellung den Grove'schen ganz ähnlich ist, zeigt die Fig. 322. *K* ist nämlich der das Platin vertretende Kohlencylinder, welcher in eine im Durchmesser ungefähr 3 4 Linien weitere Thonzelle *tt* zu stehen kommt. Diese wird von einem gegen 1 Linie abstehenden amalgamirten Zinkcylinder *zz* umschlossen und das Ganze in ein cylindrisches Becherglas *GG* gestellt, welches etwa 1 bis 1½ Zoll weiter als die Thonzelle sein mufs. Was den Kohlencylinder betrifft, so kann dieser eine ungefähr den dritten Theil seines Durchmessers weite Bohrung erhalten, so dafs noch ein Boden von 1½ Zoll *m* verbleibt. In die hierdurch gebildete Höhlung füllt man feinen Meeressand (den bekannten Zinnsand der Zinngiefser) und giefst dann als erregende Flüssigkeit die concentrirte Salpetersäure (von 1,33 spec. Gew.) darauf, welche nach kurzer Zeit die poröse Kohlenmasse durchdringt; aufserdem wird aber auch noch mit derselben Säure der zwischen der Thonzelle und dem Kohlencylinder befindliche Zwischenraum angefüllt. Als Leiter dient ein oben auf letzteren genau aufgepafster Kupferring

cher Kohlencylinder von 20 Quad. Zoll Oberfläche soll nicht mehr als 10 Sgr. kosten, während eine 10 Quad.

§. 511.

Die zwischen den Elektromotoren irgend einer einfachen Kette eintretende Spannung ist immer verhältnifsmäfsig nur schwach, es läfst sich aber die Intensität derselben vermehren, wenn man mehre solche Ketten unter einander in leitende Verbindung setzt, eine Entdeckung, welche Volta's Namen verewigt hat. Solche Combinationen heifsen dann zusammengesetzte hydroelektrische Ketten, Volta'sche Säulen oder Batterieen; auch nennt man sie, jedoch nicht ganz consequent, Galvani'sche Batterieen. Die Zusammenstellung mufs dabei so erfolgen, dafs die gleichnamigen Metalle der einzelnen Ketten oder Glieder nach derselben Seite liegen, z. B. nach der linken Seite das Kupfer, nach der rechten das Zink, und in dieser Ordnung werden dann die heterogenen Metalle je zweier auf einander folgenden Glieder durch einen guten Leiter, am besten durch Kupfer, verbunden, oder sie müssen sich unmittelbar selbst metallisch berühren.

Die Grundform einer zusammengesetzten Kette würde sich daher durch folgendes Schema darstellen lassen:

$$KfZ\frown KfZ\frown KfZ\frown KfZ,$$

in welchem K das Kupfer, Z das Zink, f die zwischen diesen Metallen befindliche elektromotorische Flüssigkeit und $\frown$ den zwischen jeder einzelnen Kette befindlichen metallischen Leiter oder die metallische Berührung bedeutet.

Die zusammengesetzten Ketten haben in Bezug auf ihre einzelnen Glieder eine verschiedenartige Anordnung erhalten, die sich meist nach der Beschaffenheit der einfachen Ketten, aus denen sie combinirt werden, richtet. Die vorzüglichsten derselben sind folgende:

1.) Zusammengesetzte Ketten mit einer Flüssigkeit. Die älteste, seit 1800 bekannt gewordene und auch jetzt noch häufig gebrauchte Kette dieser Art ist die nach ihrem Erfinder benannte Volta'sche Säule. Sie besteht aus viereckigen Kupfer- und Zinkplatten, gewöhnlich Durchmesser oder Seite, wobei aus ihnen die der Säule erleichtert wird, wenn immer eine

Zinkplatte auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sc
man zwischen drei Glas- oder gefirnifsten Holzsäulen s
einander, dafs alle Kupferplatten K nach unten, alle
platten Z nach oben oder umgekehrt zu liegen kommen.
schen jedes Plattenpaar wird aber eine mit einer erreg
Flüssigkeit, wozu man gewöhnlich eine Kochsalzlösun
verdünnte Schwefelsäure anwendet, getränkte Tuch- oder
scheibe f eingeschaltet, so dafs die genannten Elemen
Kette in folgender Ordnung von unten nach oben oder
kehrt folgen: ZKfZKfZKfZK etc. Wenn man auf diese
mehr als 30—50 Plattenpaare über einander schichtet, so
den die mit der Flüssigkeit getränkten Scheiben durc
Druck und das Gewicht der Platten so stark zusammenge
dafs ein grofser Theil jener Flüssigkeit alsdann an den P
herunterläuft. Bei einer gröfseren Anzahl von Plattenp
z. B. bei 100, ist es daher besser, zwei Säulen, jede
Paaren, neben einander in umgekehrter Ordnung aufz
und entweder die untersten oder die obersten Platten durch
Kupferstreif leitend zu verbinden. Bei der oben angeg
Anordnung kann aber auch die äufserste Zink- und die äuf
Kupferplatte, da sie mit der Flüssigkeit nicht in Berührung
men, wegbleiben, wo dann analog wie bei den einfachen
dieser Art die äufserste Kupferplatte positive, die äu
Zinkplatte negative elektrische Spannung zeigen wird.
ausführlichere Beschreibung dieser Art Volta'scher Säule
hält Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. 2—8.) Die elekt
torische Kraft in solchen Säulen fällt gröfser aus, wen
Zink amalgamirt ist, wo man dann mit Vortheil eine m
20 bis 30 Theilen Wasser verdünnte Schwefelsäure anw
kann. Nach Muncke soll sich die Wirkung um das Zwe
Vierfache verstärken lassen, wenn man die Pappscheiben
zur Aufnahme der elektromotorischen Flüssigkeit dienen
einer Seite mit feinem Graphitpulver überzieht und diese
phitfläche auf die Kupferplatte legt (s. Poggendorff's A
LIII. S. 276). Eben so wird auch die elektromotorische
gröfser, wenn man statt des Kupfers ein negativeres M
z. B. Silber, anwendet, und die kräftigsten Wirkungen soll
nach Bunsen erhalten, wenn man die Säule aus amalgam
Zink und Kohlenplatten aufbaut und dabei die im vo
Paragraphen angeführte Warrington'sche chromsaure Fl
keit anwendet. Bunsen giebt an, dafs man aus einem
langen Cylinder von feiner Kohlenmasse gegen 100 Sch
absägen kann, die nicht so wie die Kupferplatten ein Ab
nothwendig machen, sondern nur in der Erregeflüssigk
bewahrt zu werden brauchen (s. Poggendorff's A
S. 268.)

Eben so können auch nach demselben Princip aus Wollaston'schen Kapseln, Oerstedt'schen Trögen und Hare'schen Spiralen zusammengesetzte Ketten gebildet werden, wenn man die einzelnen Glieder in der gesetzlichen Ordnung an einem dazu passenden Gestelle neben einander befestigt, unter einander leitend durch Kupferdrähte oder Kupferstreifen verbindet und dann gemeinschaftlich in die erregende Flüssigkeit einsenkt, die entweder in einen dazu passenden Trog oder in die dazu gehörigen Kupferzellen oder Gläser gegossen wird. (Die Beschreibung noch einiger anderen Arten dieser Ketten siehe in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. 8—22.)

Wo es sich darum handelt, eine vielplattige Säule leicht, bequem und mit kräftiger Wirkung benutzen zu können, dürften wohl die Faraday'schen Trogapparate nach der von Young vorgeschlagenen Abänderung die meiste Empfehlung verdienen. Die aus einer Folge abwechselnder Kupferplatten und amalgamirter Zinkplatten von etwa 4 Quad. Zoll Fläche bestehende Batterie wird in einem Holzrahmen befestigt, der sich durch eine einfache mechanische Vorrichtung zwischen einem Holzgestelle leicht herauf- und herunterwinden läfst. Je zwei Kupferplatten und eben so je zwei Zinkplatten sind unter einander in der Art durch Metallstreifen fest verbunden, wie die Fig. 323 ein solches vereintes Doppelpaar darstellt. Sollen nun mehre solche Paare zu einer Batterie combinirt werden, so steckt man sie so in einander, dafs eine Kupferplatte zwischen je zwei vereinte Zinkplatten und eben so eine Zinkplatte zwischen je zwei vereinte Kupferplatten zu stehen kommt, wobei dieselben unter einander ungefähr einen Abstand von 1 Linie behalten. Im nachstehenden Schema, wo K das Kupfer, Z das Zink und ⌒ die metallischen Verbindungen vorstellen soll, ist diese Zusammenfügung angedeutet:

KZKZKZKZKZKZKZKZ

Unter eine solche Combination von Platten kommt dann ein viereckiger Trog von entsprechender Gröfse aus Holz, Porzellan oder lackirtem Blech zu stehen, in welchem sich die erregende Flüssigkeit, eine mit 20—30 Theilen Wasser verdünnte Schwefelsäure, oder das von Faraday vorgeschlagene Gemisch, befindet und worein die Platten herabgelassen werden, sobald die Batterie in Thätigkeit kommen soll. (Eine nähere Beschreibung ihrer Construction findet man in Poggendorff's Annal. XL. S. 624, und eine [illegible] Untersuchung über die Wirksamkeit dieser Art von Ket[illegible] Revis. d. Galvan. Volsismus S. 195.)

Von den in [illegible]egeri[illegible]he theils wegen ihr[illegible]u

Wirkungen eine gewisse Berühmtheit erlangt haben, mög
folgenden hier noch eine kurze Erwähnung finden. Die
Batterie der Royal Institution zu London, welche au
Plattenpaaren besteht, von denen jedes 22 Quad. Zoll
same Fläche hat, mit der Davy die wichtige Entdeckun
Zersetzbarkeit und Reduction der Alkalien machte (s. Ge
phys. Wrtb. Wrtb. VIII. S. 15). Dann die grofsplattige B
von Children, welche aus 16 nach dem Wollaston
Princip combinirten Plattenpaaren bestand, wovon jede
6 Fufs Länge und 2¾ Fufs Breite hatte, so dafs in jedem
die Gröfse der wirksamen Kupferfläche 32 Quad. Fufs
wenn diese durch leitende Verbindungen in eine vereint
den, diese Gesammtoberfläche 512 Quad. Fufs betrug (s.
ler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 693). Ferner der Deflag
oder Colorimotor von Hare, combinirt aus 80 Zink-K
spiralen, in denen die Zinkfläche 54 Quad. Zoll, die K
fläche 80 Quad. Zoll betrug, und der von Stratingh
Deflagrator, zusammengesetzt aus 100 Wollaston'schen
seln, in welchen jede Zinkfläche 200 Quad. Zoll Fläch
die entweder als 100gliedrige Säule oder als eine einfach
von 40000 Quad. Zoll Zinkfläche (oder 27 Quad. Fufs Zin
554 Quad. Fufs Kupferfläche) gebraucht werden kann. (L
torium Tab. XXI. u. CXXII.)

Alle diese Ketten mit einer erregenden Flüssigkeit
aber wohl, aufser da, wo man kräftige physiologische Wirk
(§. 520) erhalten will, nicht mehr sehr in Gebrauch ko
seitdem man die aufserordentliche Wirksamkeit der Ket
zwei verschiedenen erregenden Flüssigkeiten kennen
hat, wo schon eine geringe Anzahl von Gliedern (2
mittelmäfsiger Gröfse (20 bis 100 Quad. Zoll wirksamer
hinreicht, Wirkungen hervorzubringen, die den der
batterie der Royal Institution nicht nachstehen.

Solche Batterieen können aus Daniell'schen, Grov
oder Bunsen'schen Ketten combinirt werden, indem m
einzelnen gleich grofsen Glieder neben einander stellt u
heterogenen Elektromotoren derselben nach dem Prin
Volta'schen Säule durch Kupferstreifen oder Kupferdräh
bindet. Vortheilhaft für die Zusammenstellung ist es
wenn sich die Anzahl der Kettenglieder in zwei ziemlich
Factoren zerlegen läfst, wo sie sich dann bequem in
rechteckigen Raum einordnen lassen. — Die Grove'sch
terie, die Jacobi in Petersburg ausführen liefs, enthält 64
platten, jede von 36 Quad. Zoll Oberfläche, so dafs ihre Ges
fläche 16 Quad. Fufs beträgt (s. Poggendorff's Annal. L.
Es ist wahrscheinlich die mächtigste Batterie, die jemal
struirt wurde, selbst die grofse der Londoner Institutio

ausgenommen, denn sie mufs nach Jacobi's vergleichenden Messungen (siehe vorigen Paragraph) an Wirksamkeit einer Daniell'schen Kette von 266 Quad. Fufs und einer nach der Hare'schen Combination erbauten von fast 5500 Quad. Fufs gleich kommen.

Bei allen zusammengesetzten Ketten ist es stets ein Haupterfordernifs, wenn man nicht viel an elektromotorischer Kraft verlieren, überhaupt sich ihrer Wirksamkeit versichern will, dafs zwischen den einzelnen Kettengliedern eine rein metallische Verbindung durch nicht zu schwache und möglichst kurze gute Leiter stattfindet. Am besten eignen sich hierzu Kupferstreifen oder Kupferdrähte von hinlänglicher Stärke. Sind diese nicht unmittelbar mit den heterogenen Metallen, wie bei den Wollaston'schen und Faraday-Young'schen Ketten, fest verbunden, so dienen an die Metallplatten angelöthete kupferne Quecksilbernäpfchen dazu, in welche die Leitdrähte eingeführt werden, oder, wie Poggendorff vorschlägt, um den mancherlei Unannehmlichkeiten zu entgehen, die mit der Anwendung des Quecksilbers verknüpft sind, kupferne Schraubenhülsen oder Schraubenklemmen (s. Poggendorff's Annal. XXXIX. S. 39); nur mufs dann immer dafür gesorgt werden, dafs an den Verbindungsstellen eine rein metallische Berührung stattfindet. Dieser kann man sich am besten versichern, wenn die Berührungsstellen galvanisch vergoldet werden (§. 524), was ohne grofse Kosten und Mühe zu bewerkstelligen ist. Wird diesen Klemmen zugleich eine solche Construction gegeben, dafs sich dann sowohl die heterogenen als auch die homogenen Metalle der auf einander folgenden Ketten dadurch verbinden lassen, so gewährt diefs den Vortheil, dafs man zwei, drei und mehr Kettenglieder oder selbst alle zu einem einzigen vereinigen und auf diese Weise die Wirkung grofsflächiger Elemente erhalten kann. Eine derartige Schraubenklemme, welche sich hierzu besonders gut eignet, stellt Fig. 324 dar. *a* ist ein in einem rechten Winkel gebogener Metallstreif, der an jedem Elektromotor angelöthet wird, an dem eine, um eine Schraube oder um einen vernieteten Zapfen drehbare Platte *b* steht. In letzterer befindet sich das Schraubenloch für die Klemmschraube *d*, die mit einem hinlänglich breiten Ansatze versehen sein mufs, um damit den durchbohrten Metallstreif *c* an *b* festklemmen zu können. Dieser Streif hat bei *f* noch einen Einschnitt, womit er als Leiter zum nächsten Kettengliede über dessen Klemmschraube eingelegt wird. Alle diese Theile sind am besten von Kupfer oder auch von Messing zu führen und aus den schon angeführten Gründen noch zu platiniren, verplatiniren oder versilbern.

§. 512.

In einer solchen zusammengesetzten Kette tritt eine eigenthümliche Vertheilung der durch den Contact der Elektromotoren mit der Flüssigkeit erregten Spannung ein. Die in den einzelnen Gliedern auftretende + und — Elektricität wird gleichsam nach entgegengesetzten Richtungen fortgetrieben, und zwar jede nach der Seite hin, nach welcher die gleichartigen Elektromotoren auf einander folgen, wobei sich sowohl die Verbindungen dieser unter einander, als auch die zwischen denselben befindlichen Flüssigkeiten als Leiter darbieten. Dadurch häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten in den beiden äufsersten Elektromotoren der Kette an, welche man die Pole derselben nennt, indem der, nach welchem die + Elektricität sich bewegt hat, der positive Pol, der, nach welchem die — Elektricität gewandert ist, der negative Pol heifst.

Da bei der Anordnung der gewöhnlichen Volta'schen Plattensäulen (siehe den vorigen Paragraphen) die Pole derselben in der Regel aus Doppelplatten oder aus einem Zink-Kupferplattenpaare bestehen, wo dann die Endplatte des + Pols eine Zinkplatte, die des — Pols eine Kupferplatte ist, so pflegt man ersteren häufig auch noch den Zinkpol, letzteren den Kupferpol zu nennen.

Wird das eine Endglied der Kette nach der im vorigen Paragraphen gewählten Combination, z. B. das Kupfer, ableitend berührt oder mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt, so verschwindet in ihm der positiv elektrische Spannungszustand, es nimmt 0 Elektricität an. Die elektrische Spannung des anderen Elektromotors dieser einfachen Kette ertheilt dagegen zufolge der sich ihr darbietenden Leitung allen übrigen Gliedern der Kette dieselbe Spannung. Ein Gleiches tritt auch bei dem zweiten, dritten, vierten etc. Gliede der ganzen Kette ein, wodurch mithin die Elektricität der sämmtlichen gleichnamigen Elektromotoren, der Kupferplatten, die nach der Seite hin liegen, wo die

Ableitung stattfindet, ebenfalls abgeleitet wird; die Elektricität der übrigen gleichnamigen, der Zinkplatten, mufs sich aber in den auf einander folgenden Gliedern summiren, so dafs also nach der entgegengesetzten Seite hin die Intensität der — Elektricität in einer arithmetischen Progression zunimmt, dergestalt, dafs in dem $n$ten Gliede der Kette die Spannung auch $n$mal gröfser wird. Dasselbe Verhältnifs tritt mit der + Elektricität ein, sobald die äufserste Zinkplatte der Kette mit der Erde in Verbindung gesetzt wird. — Biot, der hierüber viele und genaue Versuche angestellt hat, fand, dafs die elektrische Spannung in solchen Batterieen unabhängig von der Gröfse oder der wirksamen Fläche der Elektromotoren ist, so dafs, wenn nur die Anzahl der Glieder zweier Ketten und ihre elektromotorische Combination dieselbe ist, auch eine gleich grofse Intensität der Spannung erhalten wird, mag man nun Elektromotoren von der 1fachen oder 100fachen Gröfse anwenden.

Um den Vorgang der sich verstärkenden Spannung und Vertheilung der Elektricität in den zusammengesetzten Ketten, so wie dieſs vorher angegeben wurde, noch anschaulicher zu machen, kann folgendes allgemeine Schema dienen. In ihm möge K wieder Kupfer, das in positiven, Z Zink, das in negativen Spannungszustand versetzte Metall, f die erregende Flüssigkeit für beide Metalle, der ⌒ die leitende Verbindung zwischen ihnen und der ⇒ die Richtung andeuten, nach welcher die Fortbewegung der + und der — Elektricität in der Kette vor sich geht, wobei die Stärke der Spannung in jeder einzelnen Kette = 1 und die Ableitung von der äufsersten Kupferplatte oder dem + Pole angenommen wird.

	I.	II.	III.	IV.
O.	KfZ⌒KfZ⌒KfZ⌒KfZ — 4			
I.	0 — 1	— 1 — 1	— 1 — 1	— 1 — 1
II.	0 0	0 — 1	— 1 — 1	— 1 — 1
III.	0 0	0 0	0 — 1	— 1 — 1
IV.	0 0	0 0	0 0	0 — 1
	0 — 1	— 1 — 2	— 2 — 3	— 3 — 4

Ein ganz ähnliches Schema erhält man, sobald die A
ung von der äufsersten Zinkplatte stattfindet, wo dann

nach beiden Polen hin in gleichem Grade an Stärke zunimmt; dagegen aber ist diese Intensität an jedem Pole der völlig isolirten Kette nur halb so grofs als die an dem isolirten Pole der Säule, deren anderer mit der Erde in Verbindung steht.

Die isolirten Säulen zeigen hiernach eine merkwürdige Analogie mit der Polarität eines Magnetstabes, bei welchem auf gleiche Weise in der einen Hälfte +, in der anderen — Magnetismus und zwischen den Polen eine Indifferenzstelle oder 0 Magnetismus vorhanden ist, so wie auch bei der Theilung eines Magnetstabes die erhaltenen Stücke ebenfalls in gleicher Art polarisch sind (§. 441).

§. 513.

Aufser den bis jetzt beschriebenen verschiedenen Arten der elektrischen Säulen giebt es auch noch einige, bei welchen die Zusammensetzung der Elemente der einzelnen Glieder der Kette eine andere ist. Es gehören zu diesen die sogenannten **trockenen**, die **zwei-elementigen** und **Ladungs-Säulen**.

Die **trockenen Säulen**, welche nach ihrem Erfinder auch **Zamboni'sche Säulen** genannt werden, unterscheiden sich von den gewöhnlichen hydroelektrischen hauptsächlich dadurch, dafs bei ihnen die elektromotorische Flüssigkeit durch einen nur wenig feuchten Halbleiter, und zwar gewöhnlich durch Papier vertreten wird. Die Elektromotoren dieser Säulen bestehen meist aus unächtem Gold- (Kupfer-) und unächtem Silber- (Zink-) Papier, welches man mit den Papierflächen auf einander klebt und woraus dann Kreisscheiben von $\frac{1}{4}$ bis 1 Zoll Durchmesser gebildet werden. Wirksamere Plattenpaare erhält man aber, wenn man nur solches Silberpapier nimmt, die Papierfläche dünn *mit* Honig oder Gummilösung bestreicht, darauf ganz fein

gepulverten krystallisirten Braunstein (Manganhyperoxyd) durch dazu sich eignendes Zeug beutelt, und, nachdem das Papier wieder hinlänglich trocken geworden ist, das Braunsteinpulver noch glättet. Eben so sollen auch Plattenpaare von ächtem Goldpapier, welches auf der Papierseite mit unächtem Blattsilber (Zink) belegt ist, von ausgezeichneter Wirksamkeit sein (s. Marbach's phys. Lex. II. S. 233, und Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. n. F. I. S. 188). Solche Plattenpaare werden nun, wie bei den Volta'schen Säulen, so über einander geschichtet, dafs dieselben Metallflächen alle nach einer Seite hin zu liegen kommen, dann recht fest zusammengepreſst, mit hinlänglich starken seidenen Faden überschnürt und so in eine passende Glasröhre geschoben. Die metallenen Fassungen der Röhre, welche mit den äufsersten Plattenpaaren in gut leitender Verbindung stehen müssen, bilden die Pole der Säule, wovon der negative auf der äufsersten Zinkfläche, der positive auf der äufsersten Kupfer- oder Braunsteinfläche sich befindet.

Die in solchen trockenen Säulen erregte elektromotorische Thätigkeit ist hauptsächlich wegen der unvollkommenen Leitung des Papiers weit schwächer als bei den hydroelektrischen oder nassen Säulen; auch erfolgt bei ihnen die Ladung oder Anhäufung der Elektricität an den Polen langsamer als bei letzteren, dagegen erhält sich in ihnen die elektrische Spannung sehr lange unverändert, während dieſs bei allen nassen Säulen, selbst bei den sogenannten constanten Batterieen, wegen der chemischen Einwirkung und der eintretenden Zersetzung der erregenden Flüssigkeit, was bei trockenen Säulen nicht der Fall ist, doch verhältnifsmäfsig nur eine sehr kurze Zeit dauert. — Soll eine Zambonische Säule ihre elektrische Spannung unmittelbar an einem Elektroskope oder ohne Condensation angeben, so mufs sie wenigstens aus 600 bis 1000 Plattenpaaren bestehen.

Mehre Physiker, wie Behrens, Deluc, Biot, Jäger, Ritter, Kämtz, haben auch von anderen als den angeführten Stoffen ähnliche trockene Säulen zusammengesetzt, sie stehen aber den aus unächtem Silber und Braunstein combinirten an Wirksamkeit nach. — Eine ganz besondere Art trockener Säule ist aber die vom Mechaniker Watkins in London aus einem einzigen Metall und ohne besonderen Zwischenleiter ausgeführte. Sie besteht aus 60 bis 80 gegen 4 Quad. Zoll grofsen Zinkplatten, die auf der einen Seite rein metallisch, auf der anderen aber noch mit der gewöhnlichen Oxydhaut bedeckt und in einen hölzernen Trog so eingesetzt sind, dafs alle rein metallischen Flächen nach derselben Seite hin liegen und zwischen je zwei Platten eine gegen 2^{mm} dicke Luftschicht bleibt. Hier vertreten die zwei heterogenen Flächen des Zinks die zweierlei Metalle und die zwischen ihnen befindliche (feuchte) Luftschicht das Papier (s. Poggendorff's Annal. XIV. S. 386).

Der ausdauernde Spannungszustand dieser Säule gab Veranlassung zur Ausführung einer Art von elektrischem Perpetuum mobile. Hierzu dienen nämlich, wie Fig. 325 darstellt, zwei trockene Zambonische Säulen, jede von mindestens 1000 Plattenpaaren, die in einem Abstande von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll vertical so aufgestellt werden, dafs ihre ungleichnamigen Pole sowohl oben als unten einander gegenüber stehen. Die unteren Pole werden durch einen Kupferstreif leitend mit einander verbunden, die oberen endigen in zwei metallene Kugeln. Bringt man zwischen diese beiden Polkugeln ein nur wenig über dem Schwerpuncte unterstütztes leichtes Pendel an, dessen Stange aus einem ganz dünnen Glas- oder Gummilackstäbchen besteht und welches oben einen kleinen Ring von Gold- oder Silberlahn trägt, so erhält dieser, wenn er mit dem einen Pole der Säule in Berührung kommt, die gleichnamige Elektricität desselben mitgetheilt; in Folge dessen wird er abgestofsen, dann aber von dem anderen Pole angezogen, von diesem wieder abgestofsen und auf solche Weise setzt sich die pendelnde Bewegung ohne Unterbrechung fort. Da indefs die Wirksamkeit solcher Säulen durch äufsere Umstände mit der Zeit dennoch Veränderungen erleidet, so hat

sich die Hoffnung, durch sie eine in jeder Zeit ununterbrochene Fortdauer von Bewegung zu erlangen, nicht realisirt.

Wichtiger für die Nutzanwendung als der vorige Apparat ist das ebenfalls auf die dauernde Spannungswirkung Zamboni'scher Säulen beruhende Elektroskop Bohnenberger's mit den Verbesserungen, die Becquerel und Fechner an demselben angebracht haben. Dieser äufserst empfindliche Apparat, den die Fig. 292 darstellt, wurde bereits §. 485 beschrieben, und die Wirkung der kleinen trockenen Säule auf das zwischen ihren Polen schwebende elektroskopische Goldblättchen wird nun aus dem Vorangehenden vollkommen erklärlich sein.

Alles auf trockene Säulen Bezügliche findet man ausführlich abgehandelt in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. S. 115—161; aufserdem siehe auch noch Marbach's phys. Lex. II. S. 499, und Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 49.

Die zweielementigen Säulen, ebenfalls eine Erfindung Zamboni's, bestehen nur aus einem Metalle und einem zwischen diesem befindlichen trockenen oder nassen Leiter. Im ersteren Falle werden sie aus Scheibchen von Silberpapier so aufgeschichtet, dafs alle Metallflächen entweder nach unten oder nach oben zu liegen kommen. Im anderen Falle sind es mehre viereckige so zugeschnittene Stanniolstückchen, dafs jedes in eine feine Spitze ausläuft, die so in mit Wasser gefüllte Uhrgläser gestellt werden, dafs jedes Plättchen auf zwei neben einander befindlichen Gläsern gleichsam reitet, und immer in ein Glas von einem solchen Plättchen die Spitze und vom anderen der breitere Theil zu stehen kommt. Es nehmen diese Säulen auch erst nach Verfluſs einiger Zeit an ihren Polen eine schwache elektrische Spannung an, die sich in ihnen selbst einige Tage lang erhält, und zwar zeigt bei den trockenen der Metallpol, bei den nassen das spitze Ende des Zinns + Elektri-

cität (s. Marbach's phys. Lex. II. S. 502, Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 57, Gilbert's Annal. LX. S. 162.)

Die sogenannten Ladungs- oder secundären Säulen, bisweilen auch Ritter'sche Säulen genannt, bestehen aus einem Schichtenwechsel homogener Metallplatten mit einem feuchten Zwischenleiter. Für sich allein gehen sie in keinen elektromotorischen Zustand über; werden sie aber eine Zeit lang mit den Polen einer Volta'schen Batterie verbunden, so zeigen sich dann nach ihrer Trennung von dieser an ihren Enden ebenfalls entgegengesetzt elektrische Pole, und zwar ist das Ende, welches mit dem + Pole der Batterie in Verbindung stand, positiv, das, welches mit dem — Pol verbunden war, negativ elektrisch geworden. Ein ähnlicher Zustand tritt auch in nicht zu schwachen Drähten von Silber, Gold und Platin ein, wenn ihre Enden abwechselnd das eine mit dem +, das andere mit dem — Pole einer kräftigen Säule verbunden werden und dieſs ungefähr 1 Stunde lang fortgesetzt wird. Die Dauer dieser Ladung ist nur vorübergehend und zeigt sich um so geringer, je schwächer der Spannungszustand ursprünglich eingetreten war. Man hat die Ursache dieser Erscheinung auf verschiedene Weise zu erklären versucht, und es ist danach am wahrscheinlichsten, daſs ein solcher Zustand hauptsächlich durch polarisirende Einwirkungen bedingt wird (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. S. 87—114).

C. Von dem Verhalten elektrischer Ketten im offenen und geschlossenen Zustande.

§. 514.

Einfache wie zusammengesetzte elektrische Ketten geben in dem bisher beschriebenen und betrachteten Zustande ihre elektromotorische Thätigkeit nur durch die polare

elektrische Spannung der Kettenglieder zu erkennen, in welche die Elektromotoren durch ihren Contact mit den Flüssigkeiten oder trockenen Leitern versetzt worden sind. Die Stärke dieser Spannung, mit der durch Reibung hervorzubringenden verglichen, ist aber gegen diese, selbst bei Ketten, die aus einer grofsen Anzahl von Gliedern combinirt werden, fast verschwindend klein, wie die elektroskopischen Prüfungen beweisen.

In diesem Zustande, den man als den elektrostatischen bezeichnen kann, nennt man die Ketten offene; werden aber die beiden Elektromotoren einer einfachen Kette oder die beiden Pole einer zusammengesetzten durch irgend einen guten Leiter verbunden, so geht der statische Zustand in den dynamischen über, d. h. die frei gewordenen ± Elektricitäten kommen in Bewegung, es entsteht wie bei der Reibungs-Elektricität ein Strom, in welchem sich die ± Elektricitäten zu 0 Elektricität verbinden oder neutralisiren, und solche Ketten werden dann geschlossene genannt. Was den Schliefsungsbogen der Ketten betrifft, so kann derselbe sehr verschiedenartig sein, nur mufs er, wie er auch gestaltet oder combinirt sein mag, immer aus hinlänglich guten Elektricitätsleitern (§. 474) bestehen, wogegen schon Halbleiter einen solchen Strom fortzuleiten nicht vermögen. Am einfachsten wird die Schliefsung bewirkt, wenn die Elektromotoren aufserhalb der Flüssigkeit selbst in Berührung gebracht werden, oder wenn man sie durch ein Metall verbindet; auch können in einen solchen Schliefsungskreis noch andere leitende Körper, z. B. eine Flüssigkeit, ein lebender organischer Körper u. dergl., eingeschaltet werden. Aufserhalb der Kette geht der Strom bei der einfachen von dem im positiven Spannungszustande befindlichen Elektromotor, also von dem negativen Metalle, und bei der zusammengesetzten vom + Pe den

Schliefsungsbogen zu dem negativ erregten Elektromotor, dem positiven Metalle, und respective zu dem — Pol, innerhalb der Kette aber gerade in entgegengesetzter Richtung, in der einfachen also vom positiven Metalle durch die elektromotorische Flüssigkeit zum negativen und in der zusammengesetzten von der negativen Polplatte auf dieselbe Weise durch alle einzelnen Ketten zum + Pole. Bei den einfachen Ketten, welche die Fig. 313—315 darstellen, ist diese Stromrichtung durch die angebrachten Pfeile bezeichnet, und auf ganz gleiche Weise hat man sich diesen Kreislauf ebenfalls bei den zusammengesetzten Ketten zu denken. Auch hier wird unter Strom, wie bei der Reibungs-Elektricität (§. 493), immer nur der positive verstanden, der zugleich eintretende negative Strom hat gerade die entgegengesetzte Richtung von jenem, oder beide Ströme gehen einander entgegen.

§. 515.

Dem Wesen nach und in ihren Grundwirkungen sind die aus der Berührung und Reibung entspringenden Elektricitäten identisch, was in neuerer Zeit auch Faraday auf vielfache Art zu beweisen gesucht hat; jedoch besteht bei ihnen ein wesentlicher Unterschied darin, dafs bei ersterer die Ursache der Elektricitäts-Erregung und mithin auch die daraus hervorgehende Wirkung ununterbrochen fortdauert, während diefs bei der Reibungs-Elektricität nicht der Fall ist. Der geladene Conductor einer Elektrisirmaschine verliert nämlich, wie wir bereits wissen, augenblicklich seine elektrische Spannung, sobald er durch einen guten Leiter mit der Erde in Verbindung gesetzt wird, und einen dauernden Strom kann man in einem Leiter annähernd nur dann erhalten, wenn man ihn während der *Thätigkeit* der Maschine mit ihrem Conductor und Reib-

e in Verbindung läfst. Dasselbe zeigt eine geladene
rie. Der Strom, welcher bei ihrer Entladung durch
Leiter geht, ist, wie wir gesehen haben, von kaum
barer Zeitdauer, und es bedarf jedesmal einer neuen
ung der Batterie, um dieselbe Wirkung hervorzubringen.
einer Volta'schen Kette aber ist die Ursache der
tricitäts-Erregung in dieser selbst enthalten und ununter-
hen thätig; daher stellt sich auch die elektrische Spann-
in ihr, nachdem sie ableitend berührt worden, sogleich
ler her, und eben so dauert auch der bei ihrer Schliefs-
eintretende Strom ohne Unterbrechung und Aenderung
, so lange die Kette geschlossen bleibt und so lange
chen den Elektromotoren und ihrer erregenden Flüssig-
eine Aenderung ihres elektromotorischen Verhaltens zu
ider nicht eintritt, weil, während sich die + Elektri-
en im Innern der Kette durch den Strom neutralisiren,
Zustand wieder hergestellt wird, durch den eine aber-
ge elektromotorische Erregung bedingt ist. Aufserdem
ringt aber auch noch dem Grade der Stärke nach eine
chiedenheit der Wirkungen der Reibungs- und Berühr-
-Elektricität aus der Quantität und Intensität der in
egung kommenden Elektricität. Die Menge des im
me circulirenden elektrischen Fluidums ist bei ersterer
ältnifsmäfsig sehr gering, wogegen die Intensität oder
itheit desselben sehr bedeutend ist. Bei'm Voltaismus
ickelt sich im Allgemeinen eine weit gröfsere Menge
Elektricität, erreicht aber nie eine sehr hohe Spann-

Daher läfst sich auch die gröfste elektrische Batterie
h eine Volta'sche Säule augenblicklich zu dem Grade
Spannung laden, welche jene an [illegible] zeigt,
ld man die letzteren durch Metall [illegible]
s der Batterie in Verbi[illegible]
r entscheidenden Beweis

der durch Reibung und Contact hervorgebrachten Elektricität lieferte ein Versuch Faraday's, der aber erst später (§. 517) seine Erklärung finden kann. In Folge dieser Verschiedenheit zwischen Quantität und Intensität fallen auch alle die Wirkungen, welche hauptsächlich von der Gröfse der letzteren abhängen, bei Volta'schen Strömen geringer, die aber, worauf die Quantität und Dauer des Stroms hauptsächlich Einflufs hat, bei ihnen weit bedeutender als bei denen der Reibungs-Elektricität aus. Noch mufs aber bemerkt werden, dafs das, was hier von der Stromwirkung im Allgemeinen angeführt wurde, sich nur auf hydroelektrische Ketten bezieht, während sie bei trockenen Säulen zwar auch vorhanden, aber äufserst schwach ist.

§. 516.

Es wären nun die verschiedenen Wirkungen, welche ein hydroelektrischer Strom in Körpern hervorbringt, während er diese durchfliefst, anzuführen und zu erklären. Um Letzteres aber gehörigermafsen thun und seine Wirksamkeit überhaupt richtig beurtheilen zu können, mufs man erst wissen, wovon die absolute Stärke eines Stroms eigentlich abhängig ist und durch welche Einflüsse dieselbe auf verschiedene Weise modificirt werden kann. Erst in neuerer Zeit haben wir hierüber gründliche Aufschlüsse erhalten, und zwar verdanken wir diese Fortschritte besonders den scharfsinnigen theoretischen Erörterungen Ohm's (s. Ohm, die galvanische Kette mathematisch betrachtet, Berl. 1821) und den genauen, jene bestätigenden Messungsversuchen, vorzüglich Fechner's (s. Fechner, Mafsbestimmungen der galvanischen Kette, Leipz. 1831), Poggendorff's und Jacobi's (s. die letzten Jahrg. von Poggendorff's Annal.).

Bei allen solchen Prüfungen ist es nun durchaus erforderlich, ein genaues Mafs für die Stärke des Stroms zu

ben, um dadurch sowohl den Einfluſs kennen zu lernen,
r aus der verschiedenartigen Combination der Kette selbst
springt, als auch die Aenderungen, welche in der Strom-
irke eintreten, gehörig würdigen zu können. Ein solches
ſs bieten die verschiedenen Wirkungen selbst, welche
r Strom hervorbringt, dar, und die nach der Verschie-
heit seiner Stärke dem Grade nach verschieden ausfallen.
cht alle Wirkungen sind aber hierzu gleich vortheilhaft
signet, und da man dieselben erst näher kennen muſs,
n dieſs gehörig beurtheilen zu können, so wird über ihre
nwendbarkeit und die Art, sie zur Messung zu benutzen,
äter (§. 527) das Nöthige angeführt werden.

Es sind nämlich hauptsächlich zwei Factoren, welche
e absolute Gröſse der Stromstärke bestimmen und mit
ren Aenderungen auch die Stärke der Wirkungen ge-
tzmäſsig zusammenhängt. Der eine dieser Factoren und
e nächste oder erzeugende Ursache des elektrischen Stroms
: die elektromotorische Kraft, und der andere, die
undäre oder modificirende Ursache ist der Leitungs-
iderstand oder die Verzögerungskraft.

Die elektromotorische Kraft hängt von der Quantität
er Masse der in Bewegung kommenden Elektricität ab.
i einfachen Ketten entspricht dieses Elektricitätsquantum
r zwischen ihren Elektromotoren eintretenden Spannungs-
fferenz, und diese ist abhängig sowohl von der Art ihrer
sammensetzung (nach §. 510), als auch von der Gröſse
r erregten Oberflächen, so weit nämlich die Elektromo-
ren mit der erregenden Flüssigkeit in Berührung stehen-
enn aber mehre einfache Ketten zu einer zusammengesetz-
n verbunden sind, so ist die Gesammtkraft derselben
mme der elektromotorischen Kräfte der einzelnen
r proportional.

Die Verzögerungskraft ist zusammengesetzt aus den verschiedenen Hindernissen, die der elektrische Strom auf dem Wege, den er durchläuft, zu überwinden hat, und bildet den Factor, wodurch der Stromeffect mehr oder weniger geschwächt wird. Diese Hindernisse entspringen theils aus der unvollkommenen Leitfähigkeit sämmtlicher in dem Kreise der Kette als Leiter fungirenden Theile, theils aus dem sogenannten Uebergangswiderstande, nämlich der Schwächung, die der Strom bei'm jedesmaligen Uebergange von einem Leiter zu einem anderen erfährt.

Die Leitfähigkeit oder das Vermögen der Körper, mehr oder weniger leicht die strömende Elektricität durch sich hindurch gehen zu lassen, ist an sich nach ihrer materiellen Beschaffenheit verschieden. Unter allen Körpern ist überhaupt die Leitfähigkeit der Metalle ohne Vergleich gröfser, als die der selbst am befsten leitenden Flüssigkeiten, da man aus Messungen gefunden hat, dafs sie letztere Millionen Mal übertrifft.

Die auf verschiedenen Wegen aufgefundenen Werthe des Leitvermögens der Metalle sind folgende:

Nach Becquerel.		Nach Ohm.		Nach Davy.	
Kupfer	= 100	Kupfer	= 100	Silber	= 109,1
Gold	= 93,60	Gold	= 57,4	Kupfer	= 100
Silber	= 73,60	Silber	= 55,6	Gold	= 72,7
Zink	= 28,50	Zink	= 33,3	Blei	= 69,1
Platin	= 16,40	Messing	= 28,0	Platin	= 18,2
Eisen	= 15,80	Eisen	= 17,4	Palladium	= 16,4
Zinn	= 15,50	Platin	= 17,1	Eisen	= 14,6
Blei	= 8,30	Zinn	= 16,8	(Gilbert's Annal. LXXI. S. 251.)	
Quecksilb.	= 3,45	Blei	= 9,7		
Kalium	= 1,33	(Schweigger's Journal N. R. XVI. S. 141.)			
(Schweigger's Journ. J. 44. S. 359.)					

Nach Lenz.		Nach Riefs.		Nach Pouillet.	
Silber b. 0°	= 136,25	Silber	= 148,74	Palladium	= 148,5
Kupfer	= 100	Kupfer	= 100	Silber	= 134,2

Nach Lenz.		Nach Riefs.		Nach Pouillet.	
Gold b. 0°	= 79,79	Gold	= 88,87	Gold	= 103,5
Zinn -	= 30,84	Cadmium .	= 38,35	Kupfer . . .	= 100
Messing -	= 29,33	Messing . .	= 27,70	Platin	= 22,5
Eisen -	= 17,74	Palladium .	= 18,18	Messing . .	= 5,2 bis = 23,4
Blei -	= 14,62	Eisen	= 17,66		
Platin -	= 14,16	Platin . . .	= 15,52	Gufsstahl .	= 13,0 bis = 20,8
(Poggendorff's Annal. XXXIV. S. 418.)		Zinn	= 14,70		
		Nickel . . .	= 13,15	Eisen	= 15,6 bis = 18,2
		Blei	= 10,32		
		Neusilber .	= 8,86	Quecksilber	= 2,6
		(Poggendorff's Annal. XXXXV. S. 20. Dove's Repert. d. Phys. VI. S. 201.)		Pouillet's Lehrb. d. Phys. übers. v. Dr. Müller I. S. 554.)	

Obige Zahlenwerthe drücken nämlich die verhältnifsmäfsigen Längen der Drähte aus, welche bei gleichem Durchmesser dieselbe Elektricitätsmenge fortleiten.

Für die leitungsfähigen Flüssigkeiten sind folgende Werthe ermittelt worden.

Nach Marianini verhält sich das Leitvermögen folgender Flüssigkeiten und Salzlösungen (in 100 Theilen Wasser) wie die beistehenden Zahlen.

Salzsaures Platin .	= 418	Alaun	= 85,0
Salpetersäure . .	= 353	Salzsaures Natron .	= 84,79
Salzsaures Gold . .	= 307	Schwefelsaures Kali .	= 80,0
Salpetersaures Silber	= 298	Salpetersaures Kali .	= 78,3
- Queck-		Benzoesaures Kali .	= 76,56
silberoxydul . .	= 278	Schwefels. Natron .	= 74,2
Schwefels. Kupfer-		Mekansaures Ammoniak	= 71,15
oxyd	= 258	Benzoesäure	= 70,67
Schwefelsäure . .	= 239	Kohlensäuerl. Natron	= 69,2
Sauerkleesäure . .	= 179	Chlorsaures Kali . .	= 68,9
Salzsäure	= 164	Dopp. kohlensaures Kali	= 66,7
Essigsaures Kupfer	= 154	Essigsaures Natron .	= 64,9
Salmiak	= 150	Schwefelsaure Magnesia	= 62,64
Kleesaures Kali . .	= 149	Saures weinsteinsaures	
Salzsaures Eisen-		Kali	= 62,4
ammoniak . . .	= 136	Schwefelsaures Eisen-	
Phosphorsäure . .	= 127	oxydul	= 62,26
Salzsaurer Kalk . .	= 110	Salpetersaurer Baryt	= 60
Weinsteinsäure . .	= 98,66	Essigsaures Kali . .	= 59,2
Weinsteinsaures Kali	= 92,0	Salpetersaurer Kalk .	= 57
Essigsäure	= 87,0	Salzsaures Eisenoxydul	= 56
Citronsäure . . .	= 85,71	Kali	= 51

Chlorsaurer Baryt .	= 53,23	Natron	= 32,6
Schwefelsaures Zink	= 51,64	Flüssiges Ammoniak	= 26,45
Brechweinstein . .	= 50,7	Blausäure	= 18,27
Phosphors. Natron	= 46	Blausaures Natron .	= 10,96
Borax	= 45,31	Destillirtes Wasser .	= 1
Phosphorsaurer Kalk	= 44,74	Alkohol	= 0,323

(Schweigger's Journ. XIX. S. 22, 284, Gehler's phys. Wrtb. u. A. IV. 2te Abth. S. 792.)

Pfaff hat nachstehende Reihenfolge der Flüssigkeiten rücksichtlich ihrer Leitfähigkeit gefunden, von denen die Salzlösungen bei mittlerer Temperatur gesättigt waren und wobei die am besten leitende den Anfang macht: — Salzsäure (1,1 spec. Gew.), salzsaures Platin, salzsaures Eisenoxyd, verdünnte Salpetersäure, Salmiak, salpetersaures Silber, concentrirte englische Schwefelsäure, salpetersaures Quecksilberoxyd, englische Schwefelsäure, mit 4 Theilen Wasser verdünnt, starker Weinessig, verdünnte Phosphorsäure, schwefelsaures Zink, schwefelsaures Kupfer, Alaun, salzsaures Zinnoxydul, Weinsteinsäure, Ammoniak (0,956 spec. Gew.), kleesaures Kali, salpetersaures Blei, schwefelsaures Eisenoxydul, essigsaures Kali, kohlensaures Kali, kohlensaures Mangan, benzoesaures Kali, weinsteinsaures Kali, Borax, essigsaures Natron, Brechweinstein, schwefelsaures Mangan, chlorsaures Kali, schwefelsaure Talkerde, schwefelsaures Natron, salzsaurer Kalk, salpetersaures Kali, schwefelsaures Kali, salzsaures Blei, essigsaures Blei, destillirtes Wasser.

Pouillet fand nach seinen Messungen die Leitfähigkeit des Kupfers 16 Mill. Mal gröfser als die einer gesättigten schwefelsauren Kupferlösung, und von dieser ergab sich, daſs sie 400 Mal besser als destillirtes Wasser leitet, so daſs hiernach das Leitvermögen des Wassers 6400 Mill. Mal schwächer als das des Kupfers ist, aber schon bei'm Zusatz von $\frac{1}{25000}$ Salpetersäure um 60 Mal stärker wird (s. Pouillet's Lehrb. d. Phys., bearb. v. Dr. Müller I. S. 578).

Die in Vorstehendem angegebenen Verhältnisse zeigen die Stärke oder Dicke der Flüssigkeitsschichten von gleich grofsen Querschnitten an, welche eine gleiche Elektricitätsmenge durch sich hindurchleiten.

Viele Körper verhalten sich im festen Zustande als Nichtleiter oder schlechte Elektricitätsleiter, während sie im flüssigen Zustande als gute Leiter auftreten. Bei Salzen geschieht dieſs durch ihre Auflösung im Wasser, und eben so beruht auch die Leitfähigkeit thierischer und vegetabilischer Stoffe hauptsächlich auf den in ihnen befindlichen Flüssigkeiten. Alle frischen animalischen Theile und besonders alle animalischen

Flüssigkeiten sind im Verhältnifs noch recht gute Leiter der Elektricität und übertreffen zufolge ihres verschiedenartigen Salzgehaltes das Leitvermögen des reines Wassers noch bedeutend; in den festweichen thierischen Organen sind aber die Nerven die besten Leiter von allen übrigen Theilen.

(Man sehe hierüber noch Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. S. 142—185.)

Aufserdem bleibt sich aber die Leitfähigkeit auch nicht gleich, sondern es verändert sich dieselbe theils durch die Wärme, theils durch den Strom selbst. Den von Lenz angestellten Versuchen zufolge nimmt bei Temperaturerhöhung das Leitvermögen der Metalle ab, doch ist diese Schwächung in verschiedenen Metallen verschieden und scheint nur bis zu einer bestimmten Grenze zu wachsen (s. Poggendorff's Annal. XLV. S. 105), wogegen dasselbe nach Marianini bei Flüssigkeiten mit ihrer Wärmezunahme wächst (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. 2te Abth. S. 790, VI. 1ste Abth. S. 151). Was in dieser Beziehung die Wirkung des Stroms betrifft, so ist er, wie wir später sehen werden, gröfstentheils selbst die Ursache der Temperaturerhöhung der Leiter, äufsert sich aber auch noch verändernd auf die materielle Beschaffenheit der flüssigen Leiter, indem er diese während seines Durchgangs chemisch zersetzt, wodurch ihre Leitfähigkeit in kurzer Zeit oft bedeutend vermindert wird.

Die verschiedenen theoretischen Ansichten über den Vorgang der Leitung oder Fortpflanzung der Elektricität findet man zusammengestellt in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. 1ste Abth. S. 115.)

An sich klar und einleuchtend ist es daher, dafs, ein je besseres Leitvermögen ein Körperstoff besitzt, desto geringer auch das Hindernifs oder der Widerstand sein mufs, den der Strom bei seiner Fortbewegung zu überwinden hat. Die absolute Gröfse des hieraus entspringenden Leitungswiderstandes ist aber nicht allein von der be
Natur eines solchen Leiters, sondern auch noch vo

Ausdehnung in die Länge, von der Gröfse seines Querschnitts und zugleich von seiner Temperatur abhängig. Es kann daher bei jedem Körper der Antheil, den seine materielle Beschaffenheit an dem durch ihn erzeugten Leitungswiderstand hat, nur dann richtig bestimmt werden, wenn die Körper unter gleichen Verhältnissen ihrer Länge, ihrer Querschnitte und ihrer Temperatur mit einander vergleichbar sind. Mit Berücksichtigung aller hierbei influirender Umstände fand Fechner durch Versuche, die dieser ausgezeichnete Physiker mit seiner gewohnten Umsicht und Genauigkeit anstellte, für den aus dem Leitvermögen der verschiedenen Körper entspringenden Widerstand folgende Gesetze auf:

Der Widerstand der metallischen Theile der Kette ist direct proportional der Länge derselben, indirect proportional ihrem auf die Richtung des Stroms senkrechten Querschnitte (bei Drähten also dem Quadrate ihrer Durchmesser) und ihrem Leitvermögen, aufserdem aber auch noch abhängig von ihrer Temperatur.

Der Widerstand der flüssigen Leiter in der Kette ist dem Abstande der Elektromotoren von einander in der Erregungsflüssigkeit proportional, umgekehrt proportional der Gröfse ihrer Oberfläche, so weit diese durch Berührung mit der Flüssigkeit erregt wird, und dem Leitvermögen der letzteren, wobei aber ebenfalls auch noch ihre Temperatur influirt.

Wenn man daher allgemein mit l die Länge des metallenen Leiters oder die Dicke der Flüssigkeitsschicht zwischen den Elektromotoren, mit q den Querschnitt oder die Gröfse der erregten Oberfläche und mit λ das Leitvermögen bezeichnet, so läfst sich die Gröfse des Leitungswiderstandes W durch folgende Formel ausdrücken

$$W = \frac{l}{q \cdot \lambda}.$$

Mit dem Leitungswiderstande der metallischen und flüssigen Theile der Kette tritt aber zugleich auch noch

der Leitungswiderstand des Uebergangs auf, der an jeder Stelle zu überwinden ist, wo der aus einer tropfbaren Flüssigkeit in einem festen Körper, sei er Elektromotor oder blos Leiter und umgekehrt, übergeht. Dieses Hindernifs zeigt eine unverkennbare Analogie mit den Veränderungen und Schwächungen, welche die vibrirenden Bewegungen des Schalls, des Lichts und der Wärme erleiden, sobald diese von einem Mittel in ein anderes übergehen, und wenn die von einigen Physikern aufgestellte Ansicht, dafs die elektrischen Erscheinungen ebenfalls aus gewissen Undulationen des Aethers entspringen, begründet wäre, so würde dieser Widerstand auf ähnliche Weise wie jene Verzögerungen seine Erklärung finden. Fechner hat zuerst auf dieses Hindernifs aufmerksam gemacht und dessen Vorhandensein so wie seine Abhängigkeit durch mehrfache Versuche nachgewiesen (s. Fechner's Lehrb. d. Galvanismus S. 224, und dessen Mafsbestimmungen über d. galvanische Kette, Leipz. 1832, so wie Marbach's phys. Lex. II. S. 538), was auch noch durch Poggendorff in der neuesten Zeit constatirt worden ist (s. Poggendorff's Annal. LII S. 497 u. 544). Die Resultate, welche der zuletzt genannte Physiker aus seinen darüber angestellten Versuchen erhielt, führten ihn auf folgende Schlufsfolgen.

Der Uebergangswiderstand ist unabhängig von der Elektricitätsleitung im Innern der Körper. Er ist verschieden nach der Natur der Flüssigkeit und des dieselbe berührenden Metalls. Derselbe wird in hohem Mafse von der Oberflächenbeschaffenheit des Metalls bedingt. Er richtet sich nach der Stromstärke in den einzelnen Stellen, wo der Uebergang stattfindet, und wird um so gröfser, je schwächer der Strom ist. Wird bei sich gleich bleibender Stromstärke die Uebergangsfläche geändert, so ändert sich dieser Widerstand in einem kleineren Verhältnisse, als das

umgekehrte dieser Flächenvergröſserung. Mit zunehmender Temperatur vermindert sich derselbe, und zwischen Metallen ist er gar nicht vorhanden.

Wenn man bei einer Kette den Leitungswiderstand ihrer verschiedenen Theile vergleichen will, so muſs man den Leitungswiderstand eines commensurabeln Körpers, z. B. eines Drahts von bestimmter Materie, Länge, Dicke und Temperatur, den dieser, in die Kette eingeschaltet, wirklich leistet oder leisten würde, als Einheit annehmen. Dieser Widerstand bestimmt sich aus dem Resultate der Stromwirkung, welche sich, wie schon erwähnt, auf verschiedene Weise zu erkennen giebt, und ist dann die vergleichende Maſseinheit für analoge Wirkungen. Hiernach wird dann der Leitungswiderstand jedes anderen Körpers oder jedes Theiles der Kette selbst als Vielfaches oder als Theil dieser Einheit ausdrückbar, oder, was dasselbe ist, man findet dadurch, welche äquivalente Drahtlänge denselben Widerstand erzeugen würde. Ohm nennt den auf eine solche Einheit bezogenen Leitungswiderstand die reducirte Länge, und ein Körper oder ein Theil der Kette von der *n*fach reducirten Länge heiſst dann so viel, als ein solcher, der einen *n*mal so groſsen Leitungswiderstand als jener zur Einheit angenommene Draht hervorbringt.

Sucht man auf diese Weise die Länge der Drähte anderer Metalle von derselben Dicke wie jener Normaldraht, welche, wenn mit ihnen die Kette geschlossen wird, denselben Widerstand erzeugen, so verhält sich dann die Leitfähigkeit jener Metalle wie die gefundenen Drahtlängen; wenn man aber dieselben Drähte von verschiedener Stärke anwendet, so zeigt sich nun ihr Widerstand im quadratischen Verhältnisse ihrer Durchmesser vermindert. Beträgt z. B. die Länge des als Maſseinheit dienenden Kupferdrahts 10 Zoll, so wird man nach den Bestimmungen von Rieſs finden, daſs bei gleicher Stärke ein Eisendraht von $1\frac{3}{4}$ Z., ein Platindraht von $1\frac{1}{2}$ Z., ein Bleidraht von $1\frac{3}{100}$ Z., ein Neu-

berdraht von ungefähr $\frac{1}{10}$ Z. und ein Silberdraht von beihe 15 Z. Länge einen gleichen Widerstand erzeugt; ein jeder n jenen Drähten kann aber n^2mal länger genommen wern, wenn er $n$mal stärker ist, ohne dafs dann der Leitungsiderstand gröfser ausfällt. Eben so läfst sich auch die Gröfse r Verzögerungskraft jedes beliebigen anderen Leiters ermitn, sobald durch ihn die Schliefsung der Kette bewirkt wird. setzt, man wollte wissen, welchen Leitungswiderstand der enschliche Körper hervorbringt, so würde man diesen finden, dem man untersuchte, wie lang der normale Kupferdraht nommen werden müfste, um denselben Widerstand zu beirken, welche Länge dann die reducirte Länge des enschlichen Körpers heifst. Um aber zu erfahren, wie h der Widerstand eines einzelnen Gliedes der angewendeten ette zu dem des menschlichen Körpers verhält, hätte man ir nöthig, ein solches statt jenes zu substituiren und eben so e äquivalente Drahtlänge zu suchen. Diese, mit der Zahl der ettenglieder multiplicirt, giebt dann die reducirte Länge :r ganzen Kette, und es wird sich daraus ergeben, dafs r Leitungswiderstand in ihr immer noch viel kleiner als der s menschlichen Körpers ist.

Da mithin das Leitvermögen eines Körpers den Widerd bedingt, den ein elektrischer Strom zu überwinden so mufs auch die Stromkraft stets gröfser sein als jene zögerungskraft, wenn die Bewegung der Elektricität klich eintreten soll, und daraus ist es auch erklärlich, s viele Körper für starke Ströme noch Leiter sein kön-, während sie sich bei schwachen Strömen wie Nichter verhalten, oder ihr Leitvermögen verschwindet dann en solche Ströme als eine unendlich kleine Gröfse.

Was nun den Gesammtwiderstand anbelangt, der in r geschlossenen Kette wirksam wird, so kann man sich selben aus zwei Theilen bestehend denken, nämlich aus s Widerstande, den der Strom bei seinem Laufe durch Kette selbst, und aus dem, welchen er im Schliefsungsen aufserhalb der Kette zu überwinden hat. Die Vererungskraft in der Kette ist der [illegible] der einnen Glieder gleich und resultirt [illegible] Gröfse

Leitungswiderstand [illegible] ren

befindlichen Flüssigkeitsschicht so wie ihres Uebergangswiderstandes und der Verzögerung, die aus dem als Leiter dienenden Metalle entspringt, durch welches die Verbindung mit dem nächsten Gliede bewirkt wird, woraus dann folgt, dafs bei einer gleichartigen Combination der zusammengesetzten Kette ihr Widerstand der Anzahl ihrer Glieder proportional sein und, so lange eine Aenderung in der Kette nicht eintritt, sich auch gleich bleiben mufs. Die Verzögerungskraft in dem Schliefsungsbogen richtet sich nothwendig nach dessen Beschaffenheit und Combination und wird im Allgemeinen um so gröfser werden, je länger und dünner der zur Schliefsung dienende Draht und je geringer die Leitfähigkeit des Metalls ist, woraus derselbe besteht, wird aber vorzüglich noch erhöht durch Einschaltung schlechterer Leiter, wie Flüssigkeiten und der menschliche Körper sind, wo dann bei diesen auch noch der Uebergangswiderstand dazu tritt. Es ist dieſs derjenige Theil im ganzen Schliefsungskreise, worauf bei den meisten Versuchen eigentlich die Wirkung der ganzen Kette gerichtet ist, zugleich aber auch der, in welchem jede Aenderung ihren Einfluſs auf den Gesammtwiderstand der ganzen Kette äufsert.

Wenn man nun bei Bestimmung der Wirkung eines elektrischen Stroms auf den eigentlich activen Factor in der Hervorbringung und Unterhaltung desselben, auf die elektromotorische Kraft, Rücksicht nimmt, so ergiebt sich für die Gröfse jener Wirkung oder für die Stärke des Stroms unter allen Umständen und unter Berücksichtigung alles dessen, was dieser Kraft hindernd entgegentritt, das von Ohm aufgestellte wichtige Gesetz, dafs die Stromstärke einer geschlossenen Kette der gesammten in ihr wirksamen elektromotorischen Kraft direct, dem verschiedenen Leitungswiderstande

ler ihrer Theile zusammen genommen indi-
ect proportional ist, oder es kann durch einen Bruch
rgestellt werden, der zum Zähler die elektromotorische
raft, zum Nenner den Gesammtwiderstand aller Theile
hält, und läfst sich also, wenn man K die Stärke oder
Wirkung des Stroms, A die in der Kette wirksame elek-
tromotorische Gesammtkraft und W die constante Verzöger-
ungskraft in der Kette, w aber die veränderliche in dem
Schliefsungsbogen nennt, durch die Formel

$$K = \frac{A}{W + w}$$

drücken.

Durch dieses Ohm'sche Fundamentalgesetz, welches in
iner Anwendung die mannigfachsten Entwickelungen zu-
ht und seine Bestätigung gefunden hat, ist erst eine klare
sicht in die scheinbar verwickelten Umstände bei der
Wirksamkeit elektrischer Ketten gewonnen worden.

Wenn sonach die Stromstärke in der einfachen Kette, de-
ren erregte Oberfläche gleich 1 ist, nach der Ohm'schen For-
mel durch

$$\text{I.} \quad K = \frac{A}{W + w}$$

ausgedrückt wird, so ist die Stromstärke einer aus n solchen
Gliedern zusammengesetzten Kette

$$\text{II.} \quad K^1 = \frac{nA}{nW + w},$$

und in einer einfachen Kette von $n$mal gröfserer erregten
Oberfläche, bei welcher sich der Leitungswiderstand im in-
directen Verhältnisse der Gröfse dieses Querschnitts vermindert,
ergiebt sich für die Stärke des Stroms

$$\text{III.} \quad K'' = \frac{A}{\frac{W}{n} + w} = \frac{nA}{W + nw}.$$

Nimmt in irgend einem Theile der Kette die Wirk-
samkeit zu oder ab, dadurch, dafs die elektromotorische
Kraft vermehrt (also A gröfser) oder die Verzögerungs-
kraft an irgend einer Stelle vermindert (also $W + w$ klei-
ner) wird, so nimmt auch die Wirksamkeit in allen Theilen

der geschlossenen Kette in einem entsprechenden Grade zu oder ab, d. h. die Verstärkung oder Schwächung, die durch Aenderung der elektromotorischen oder Verzögerungskraft veranlafst wird, erstreckt sich gleichmäfsig auf alle Theile der Kette. Da ferner der Stromeffect von der Gesammtmenge der im Strome circulirenden Elektricität abhängt, so ist auch diese Menge, die durch jeden Querschnitt der Kette fliefst, es mag derselbe irgend eine Gröfse oder Beschaffenheit haben, welche er will, gleich grofs. In einem engeren Theile der Kette wird sich die strömende Elektricitätsmasse nothwendig mehr zusammendrängen oder verdichten müssen, während sie sich in einem gröfseren Querschnitte mehr ausbreitet, gleichsam verdünnt; in beiden Fällen werden aber durch diese Theile immer gleiche Quantitäten der Elektricitäten strömen. Durch die Gröfse dieser Querschnitte wird bei jedem Strome das, was man seine Intensität nennt, bestimmt, und zwar verhält sich diese in jedem Theile der geschlossenen Kette umgekehrt wie die auf die Stromrichtung senkrechten Querschnitte, d. h. sie nimmt in dem Verhältnisse zu, als die Flächen der letzteren kleiner werden. Diese verschiedene Intensität bei gleicher Quantität der Elektricität ist es vorzüglich, welche mehre Wirkungen des Volta'schen Stroms bedingt; es darf jedoch die Intensität des Stroms nicht mit der Intensität der polaren Spannung, welche sich in der ungeschlossenen Kette zeigt, verwechselt werden; denn letztere hängt von der Menge der frei gewordenen, von ihrem Gegensatze getrennten Elektricität ab, ihr Mafs ist die Repulsivkraft, welche die Theilchen der entgegengesetzten Fluida auf einander selbst ausüben, und bestimmt sich durch die Wirkungen auf das Elektrometer, wogegen die Intensität des Stroms auf der Quantität der ± Elektricitäten beruht, die

sich in jedem Augenblicke an allen Stellen des Schliefsungskreises neutralisiren, während dessen aber verschiedenartige Wirkungen hervorbringen, und bei dieser Ausgleichung ihre elektromotorische Aeufserung verlieren. Die Gesammtkraft der Stromwirkung mufs daher in jedwedem Theile oder Querschnitte der Kette dem strömenden Elektricitätsquantum proportional bleiben, während die relative Kraft, die Intensität, davon abhängt, wie jene Elektricitätsmasse in jedem einzelnen Theile eines Durchschnitts seine Wirkung äufsert.

Nachdem es nun aus dem Vorangehenden und namentlich aus dem erklärten Ohm'schen Gesetze ersichtlich ist, wovon die Stromstärke elektrischer Ketten abhängt, so ergeben sich daraus auch noch folgende auf ihre Wirksamkeit sich beziehende Folgerungen.

1.) Wenn der Leitungswiderstand des Schliefsungsbogens im Vergleich zu dem in der Kette selbst vorhandenen sehr gering ist, so wirkt eine Batterie nicht kräftiger als jedes einzelne Glied derselben, eine einfache Kette aber um so stärker, je gröfser die erregten Flächen ihrer Elektromotoren sind.

Ist der Leitungswiderstand w im Schliefsungsbogen gegen den W in der Kette verschwindend klein, so kann man ihn als gar nicht vorhanden betrachten, und dann verwandeln sich die Werthe der Stromstärken K, K' und K'' bei den im Vorangehenden abgeleiteten Formeln für das Ohm'sche Gesetz in folgende:

$$K = \frac{A}{W}; \quad K' = \frac{nA}{nW}; \quad K'' = \frac{nA}{W},$$

oder es verhalten sich:

$$K : K' : K'' = A : A : nA.$$

2.) Findet aber hinsichtlich des Leitungswiderstandes gerade das Gegentheil statt, d. h. ist der Widerstand im Schliefsungsbogen gegen den in der Kette [illegible] dann wirkt eine Batterie im Ver[illegible] der A[illegible]

der stärker, ein Glied von grofsen erregten Flächen aber nicht merklich kräftiger als ein kleineres.

Wäre in diesem Falle der Leitungswiderstand W der Kette gegen den w im Schliefsungsbogen verschwindend klein, so würde in vorigen Formeln W ganz wegfallen können, und man erhielte dann für die Stromstärken K, K' und K'' folgende Werthe:

$$K = \frac{A}{w};\ K' = \frac{nA}{w};\ K'' = \frac{nA}{nw},$$

oder es verhalten sich:

$$K : K' : K'' = A : nA : A.$$

3.) Da der Widerstand, den eine zusammengesetzte hydroelektrische Kette an irgend einer Stelle des ganzen Stromweges zu überwinden hat, zugleich die Wirksamkeit in ihr bedingt, so erhält man auch durch eine solche Kette von vorgeschriebener Gesammtfläche ihrer einzelnen Glieder den gröfsten Stromeffect, wenn der Widerstand in der Kette genau dem Widerstande gleich kommt, den der Strom im Schliefsungsbogen zu überwinden hat (s. Jacobi in Poggendorff's Annal. L. S. 510).

4.) Weil aber in der Zusammensetzung einer Kette mehre Ursachen vorhanden sind, durch welche ihre elektromotorische Kraft eine Aenderung erleiden kann, wie die eintretende Polarisation der Metalle (§. 509), die chemische Veränderung ihrer Oberfläche, so wie der sie erregenden Flüssigkeiten, wovon zugleich auch die Gröfse des Uebergangswiderstandes abhängig ist, so ergiebt sich hiernach, dafs nur mit solchen Ketten ein constanter und annähernd unveränderlicher Stromeffect zu erlangen ist, wo diese verändernden Ursachen in sehr geringem Grade vorhanden sind, oder wo sie sich gegenseitig in ihren Wirkungen paralysiren (man sehe hierüber noch §. 523).

Aus dem Allen ergiebt sich mithin, dafs die Wirksamkeit bei allen elektrischen Ketten auf blofse quantitative Verschiedenheiten zurückgeführt wird, und dafs dieselbe

Kraft K zu erhalten ist, je nachdem das eine oder andere Glied der Formel

$$K = \frac{A}{W + w},$$

welche das Ohm'sche Gesetz ausdrückt, verändert wird.

Alles auf die Wirksamkeit Volta'scher Ströme Bezughabende findet man nach dem Ohm'schen Gesetze erschöpfend und mehrseitig entwickelt in den beiden schon angeführten Schriften von Ohm und Fechner, aufserdem auch noch in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. S. 23—38, Marbach's phys. Lex. II. S. 534—543, und die darüber noch in neuerer Zeit erhaltenen Resultate in Pouillet's Lehrb. d. Phys. übers. v. Dr. Müller I. S. 566—578 und Baumgartner's Naturl. 7te Aufl. S. 428 u. 886, so wie in Poggendorff's Annal. LIV. S. 161, LV. S. 43, 158, 511.

D. Die verschiedenen Wirkungen hydroelektrischer Ströme.

§. 517.

Die aus einem hydroelektrischen Strome hervorgehenden Wirkungen lassen sich unter folgende Hauptclassen ordnen: 1.) Magnetische Wirkungen, 2.) Lichterscheinungen, 3.) Wärmeerregungen, 4.) physiologische und 5.) chemische Wirkungen, und in dieser Ordnungsfolge sollen nun auch die wichtigsten derselben beschrieben werden.

1.) Magnetische Wirkungen. — Diefs sind die am spätesten und zwar erst in der neueren Zeit (seit 1820) bekannt gewordenen. Eine der wichtigsten derselben, die Fundamentalwirkung, soll aber hier allen andern Stromwirkungen vorangestellt werden, weil wir seit ihrer Entdeckung erst das bequemste und sicherste Mittel kennen gelernt haben, durch welches wir Alles erfahren können, was man von solchen Strö[illegible]issen nöthig hat. Es ist diefs die Einwirkung [illegible], und zwar vertritt letztere [illegible] die der Elektroskope [illegible]

bekannt, nur durch die Wirkung der Spannung afficirt werden.

Jeder in der Nähe einer Abweichungsnadel (§. 447) vorbeigehende dauernde elektrische Strom lenkt nämlich jene aus ihrer polaren Stellung mehr oder weniger ab, und zwar in der Art, dafs, wenn der Strom in der Richtung von Süd nach Nord unter der Nadel weggeht, ihr Nordpol rechts oder nach Ost, wenn er aber von Nord nach Süd seinen Lauf nimmt, der Nordpol links oder nach West abgelenkt wird und dafs die Ablenkungen gerade nach den entgegengesetzten Weltgegenden eintreten, sobald der Strom in diesen Richtungen über die Nadel hinweggeleitet wird. Gleichzeitig in diesen entgegengesetzten Richtungen unter und über eine solche Magnetnadel wegfliefsende Ströme wirken demnach in gleichem Sinne ablenkend auf sie ein und verstärken sich daher gegenseitig in dieser Wirkung. Bei starken Strömen reicht es aus, denselben blos einmal unter oder über eine einfache Abweichungsnadel wegzuführen, bei schwachen Strömen mufs er aber mehre Male um eine solche Nadel herumgeleitet werden, damit sich die ablenkende Wirkung des einfachen Stromes auf die Nadel wiederholt oder multiplicirt, und bei ganz schwachen Strömen wird es nothwendig, eine astatische Doppelnadel (wie sie Fig. 274 darstellt) anzuwenden, wobei sich die untere Nadel zwischen, die obere aber über den Stromwindungen befindet, so dafs dann beide Richtungen des Stromes auf beide Nadeln in gleichem Sinne ablenkend einwirken. Zu der ersten Art dieser Mefswerkzeuge gehört die Galvanometer-Bussole von Jacobi (a), zur zweiten Art der von Schweigger und gleichzeitig von Poggendorff erfundene Multiplicator (b) und zur dritten Art das zuerst von Nobili angegebene Doppelgalvanometer (c). Nicht für alle Arten von elektrischen Strömen sind aber die

genannten Instrumente gleich vortheilhaft anwendbar; auch bestimmt der Hauptzweck, den man dabei vor Augen hat, und der entweder blofs die qualitative oder zugleich auch die quantitative Prüfung des Stromes betrifft, die verschiedenen abweichenden Einrichtungen, die man denselben ertheilt hat.

Diese Instrumente zeigen nun zunächst das wirkliche Vorhandensein solcher Ströme durch eine eintretende Ablenkung ihrer Magnetnadel an; zugleich erkennt man auch aus der Richtung, in welcher jene erfolgt, die Richtung der strömenden Elektricität, und endlich läfst sich auch noch aus der Gröfse des Abweichungswinkels die Stärke des Stromes selbst und die Gröfse des Leitungswiderstandes irgend eines Theils der Kette bestimmen (d). In welchem gesetzlichen Verhältnisse die Gröfse der Ablenkung zur Stärke des Stromes steht, soll später (§. 527), wo die verschiedenen Mittel angeführt werden, durch welche sich die Stärke von solchen Strömen bestimmen läfst, erklärt werden; vor der Hand aber genüge die Angabe, dafs im Allgemeinen jeder Strom überhaupt die Tendenz hat, die Nadel rechtwinkelig zu seiner Richtung zu stellen, und dafs Ströme, welche bei übrigens gleichen Umständen die gröfste Ablenkung hervorbringen, auch die gröfste Stärke besitzen. Was die Theorie dieser wichtigen Mefsapparate anbelangt, worauf deren ganze Construction und ihr Gebrauch beruht, so wird das darauf Bezügliche noch in dem Abschnitte des Elektromagnetismus besonders vorkommen, so wie man auch dort noch die anderen damit in Verbindung stehenden verschiedenartigen magnetischen Erscheinungen angeführt findet.

Es mag nun noch eine kurze Beschreibung der mechanischen Einrichtung der gebräuchlichsten Arten dieser wichtigen Instrumente folgen, und von einigen anderen soll durch die auf sie sich beziehende Litteratur der nöthige Nachweis gegeben werden.

(a) Die Galvanometer-Bussole Jacobi's Fig. 326 besteht aus einer gewöhnlichen Abweichungsnadel *ns* von ungefähr 2 Zoll Länge, unter welcher möglichst nahe ein etwa 1 Linie starker Kupferdraht hinweggeführt wird, an dessen aufser dem Gehäuse befindlichen Enden zwei Quecksilbernäpfchen oder Schraubenhülsen *a* angebracht sind, um die Schliefsungsdrähte des Stromes damit in Verbindung setzen zu können. Die Nadel durchläuft einen in der Art getheilten Kreis, wie ihn Fig. 326 zeigt, und bei'm Gebrauche mufs jene genau auf 0 Grad der Theilung stehen, damit der Strom unter ihr entweder von *s* nach *n* oder umgekehrt hinweggehen kann.

(b) Der Multiplicator von Schweigger Fig. 327 besteht aus einem oval gestalteten Gewinde von schwarzem Kupferdraht *dd*, zwischen welchem eine Abweichungsnadel *ns* entweder auf einer Spitze schwebend, oder besser an einem Coconfaden hängend angebracht ist. Die beiden Enden des ohne Unterbrechung fortlaufenden Drahtgewindes stehen bei *aa* mit zwei Quecksilbernäpfen oder Schraubenhülsen in Verbindung, durch welche sich der Draht des Multiplicators in den Schliefsungskreis des Stromes einschalten läfst. Damit der Strom aber genöthigt sei, den Draht in seiner ganzen Länge zu durchlaufen, ohne von einer Windung zur andern überzuspringen, mufs er mit Seide umsponnen und dann noch mit Gummilackfirnifs überzogen werden, wodurch man gegen eine metallische Berührung der Drahtwindungen unter einander völlig gesichert ist. Was die Zahl der Windungen in dem Multiplicatordraht betrifft, so ist sie von wesentlichem Einfluſs auf die Anzeige der Wirkungen, und zwar bestimmt sich dieselbe danach, ob die zu messende Stromkraft stark oder schwach ist; im ersteren Falle ist eine einzige Windung oder sind einige Windungen ausreichend, während im letzteren Falle die Wirkung durch die Zahl der Windungen bedeutend verstärkt wird. Die gebräuchlichsten Multiplicatoren enthalten ungefähr 100 bis einige 100 Windungen; zu besonderen Zwecken sind aber auch schon Multiplicatoren von mehren 1000 Windungen ausgeführt worden (z. B. Fechner's Multiplicator von einem 16454 Par. Fufs langen Kupferdraht, welcher zu einem Multiplicator von 12076 Windungen diente, s. Poggendorff's Annal. XLV. S. 234). Eben so ist auch die Dicke des Kupferdrahtes von Einfluſs auf die Wirkung des Multiplicators; für starke Ströme müssen dicke, für schwache dagegen können ganz dünne Drähte, von ungefähr 0,16^{mm} Stärke, vortheilhaft angewendet werden. Uebrigens gilt für den Gebrauch dieser Apparate dasselbe, was schon bei der Galvanometer-Bussole angeführt wurde, daſs nämlich das Drahtgewinde in der Richtung des magnetischen Meridians

stehen und dafs der Ablenkungswinkel der Nadel durch eine unter ihr angebrachte Kreistheilung meſsbar sein mufs.

(c) Der Doppelgalvanometer nach Nobili unterscheidet sich vom vorigen hauptsächlich durch die bei ihm in Anwendung kommende astatische Doppelnadel. Eine der neueren Einrichtungen desselben stellt die Fig. 328 dar. Der Multiplicatordraht wird nämlich auf ein cylindrisches Rähmchen *aa* Fig. 328[a] neben und über einander so aufgewickelt, dafs in der Mitte *aa* ein Zwischenraum zum Einbringen der unteren Magnetnadel frei bleibt, die dann zwischen den 6[mm] von einander entfernten Drahtgewinden frei oscilliren kann. Die obere Nadel *ns* Fig. 328 schwebt dicht über den Drahtwindungen, auf welchen eine Kreistheilung wie bei Fig. 326 auf Pergamentpapier angebracht ist. Die Doppelnadel hängt an einem Coconfaden *fr*, der bei *r* an einer Rolle befestigt wird, von welcher ein sie drehender gewöhnlicher Faden Seide *rp* nach dem Metallbügel *rpt* und an diesem hinab zu einer Schraube *x* läuft, durch welche er bewegt wird, wodurch die Nadel gehoben oder herabgelassen werden kann. Um die Drahtwindungen und zugleich die Kreistheilung in die gehörige Stellung unter die Nadel bringen zu können, ist der Multiplicator auf einer Kreisscheibe *b* befestigt, die unterhalb in ihrem Mittelpuncte einen cylindrischen Zapfen hat, mit welchem sie in ein dazu im Fufsgestelle *gh* des ganzen Instruments angebrachtes Loch pafst und durch den am Ende des Zapfens befestigten Arm *cd* gedreht werden kann. Die beiden Enden des Multiplicatordrahtes stehen mit den beiden Schraubenhülsen oder Quecksilbernäpfchen *k*, *z* in Verbindung, nach welchen die Schliefsungsdrähte der elektrischen Kette geleitet werden. Um dem Apparate die nöthige horizontale Stellung zu geben, sind an der Fufsplatte drei Stellschrauben vorhanden, und um die Nadel gegen Bewegungen durch Luftzug und gegen Staub zu schützen, dient die Glasglocke *G*.

Bei allen diesen und ähnlichen Instrumenten mufs, wenn eine Ablenkung der angewendeten Magnetnadel eintreten soll, der elektrische Strom die richtende Kraft des Erdmagnetismus überwinden. Es ist daher klar, dafs die Empfindlichkeit dieser Meſsapparate, aufser dafs sie unter den angeführten Umständen schon durch die Anzahl der Multiplicatorwindungen gesteigert werden kann, auch hauptsächlich von der leichten Beweglichkeit der Magnetnadel und deren geringen richtenden Kraft abhängig sein mufs. Deshalb ist das Aufhängen derselben an einem Coconfaden der Bewegung auf einer Spitze stets vorzuziehen, und daher sind einfache schwach magnetische Nadeln, noch mehr aber möglichst astatische Doppelnadeln, besonders empfindlich. Wievielfach durch beide Mittel die in dem Multiplicator-

drahte circulirende Stromkraft an einem Nobili'schen Multiplicator vermehrt wird, mag durch folgendes Beispiel nachgewiesen werden. Gesetzt, der Multiplicator enthalte 333 Windungen, so wirkt der urspriüngliche Strom auf die untere Nadel 666, auf die obere 333, auf beide zusammen also 999 oder 1000 Mal ein. Beide Nadeln machten bei gleicher Polrichtung in einer Minute 57, als astatische Nadeln 9 Schwingungen. Da die richtende Kraft des Erdmagnetismus dem Quadrate dieser Zahlen proportional ist (§. 454. S. 714), so ist dieselbe bei der einfachen Nadel 3248 und bei der astatischen 81, mithin bei letzterer 40 Mal schwächer und deshalb der elektrische Strom auf diese 40 Mal stärker einwirkend. Die ablenkende Kraft des ursprünglichen Stromes mufs deshalb durch diesen Galvanometer $1000 . 40 = 40000$ Mal verstärkt werden.

Ausführlichere Beschreibungen der angeführten Galvanometer so wie der von Marianini, Nervander und noch mehren anderen findet man in Gehler's phys. Wrth. n. A. VI. S. 2476—2599, so wie auch in Marbach's phys. Lex. III. S. 730—748.

(d.) Bei einfachen Ketten, wo aber immer derselbe Schliefsungsdraht angewendet werden mufs, ist die Ablenkung der Magnetnadel, sobald die erregten Oberflächen der Elektromotoren gleich grofs sind, um so gröfser, einen je gröfseren Spannungsunterschied dieselben annehmen, der hier offenbar von der beträchtlicheren Menge der durch den Contact frei gewordenen Elektricität herrührt, die sich auf den gleich grofsen Flächen ansammelt. Deswegen erzeugen auch hydroelektrische Ketten, combinirt aus zwei heterogenen Metallen und zwei verschiedenen Flüssigkeiten (§ 510. S. 858), die gröfsten Ablenkungen der Magnetnadel. — Bei gleichartigen einfachen Ketten nimmt die Ablenkung mit Vergröfserung der erregten Flächen der Elektromotoren zu, jedoch in einem kleineren Verhältnisse als diese, ein Einfluſs, der aus dem Uebergangswiderstande entspringt (vergl. §. 516.) — Bei derselben Kette nimmt die Ablenkung der Nadel mit der Zunahme des Abstandes der Elektromotoren in ihrer erregenden Flüssigkeit ab, und zwar nach dem §. 516 S. 886 angegebenen Verhältnisse. — Werden aber mehre einfache Ketten zu einer Batterie vereinigt, so zeigt, dem Ohm'schen Gesetze gemäfs, wenn der Widerstand im Schliefsdrahte des Multiplicators gegen den in der Kette verschwindend klein ist, die Nadel auch keine stärkere Ablenkung, als durch eine einfache Kette (§. 516, S. 893).

Colladon wies auch zuerst nach, dafs der durch Reibungs-Elektricität hervorgebrachte Strom ganz analoge Ablenkungen der Magnetnadel hervorbringt, was ein neuer Beweis für die Identität der Reibungs- und Contact-Elektricität wurde. Es gehört dazu ein Multiplicator von zahlreichen Windungen,

so wie eine Continuität und Verlangsamung des Stromes. Beides läfst sich erlangen, wenn man den Multiplicator in einen Leiter einschaltet, der vom + Conductor zum Reibzeug geht, wobei man auch noch mit Vortheil ein Stück nafsgemachten Bindfaden anwenden kann, den man mit in die Leitung verknüpft, worauf man die Maschine in Thätigkeit versetzt, oder indem man eine geladene Flasche oder Batterie nur allmählig durch eine solche Leitung entladet, wobei das eine Ende mit dem äufseren Belege verbunden und zugleich das andere Ende dem inneren Belege genähert wird. (Bullet. universel. Septbr. 1826. Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. u. Math. II. 40. III. 257. 1827). Faraday hat bei seinen Untersuchungen der elektrischen Erscheinungen (s. 3te Reihe von Poggendorff's Annal. XXIX.) dieses Mittel benutzt, um den Contrast nachzuweisen, welcher hinsichtlich der Quantität der durch Reibung und der durch Volta'sche Ketten hervorgebrachten Elektricität stattfindet. Eine ganz kleine Volta'sche Kette, bestehend aus einem Platin- und einem Zinkdrahte, von $\frac{1}{12}$ Zoll Stärke, welche in einem Abstande von $\frac{1}{4}$ Zoll, $\frac{1}{4}$ Zoll tief in ein ganz schwach gesäuertes Wasser gebracht wurden, bewirkten bei einem Eintauchen, welches nur 3 Secunden dauerte, genau dieselbe Ablenkung an einer Galvanometernadel, wie der Entladungsstrom einer elektrischen Batterie von 8 Leidener Flaschen, welche mittels 30 Umdrehungen einer kräftigen Elektrisirmaschine geladen waren. Als er 15 Flaschen anwendete und diese ebenfalls durch 30 Umdrehungen lud, so war die Elektricitätsmenge in der Batterie dieselbe, die Spannung oder Dichtheit derselben aber schwächer, und es trat bei der Entladung dieselbe Ablenkung wie beim ersten Versuche ein; wurde aber die Batterie durch 60 Umdrehungen geladen, so war die Ablenkung der Nadel die doppelte.

§. 518.

2.) Lichterscheinungen. — Lichterscheinungen an elektrischen Ketten treten ein in dem Augenblicke und an der Stelle, wo die Pole der Kette durch einen metallenen Leiter geschlossen werden. Der hierbei sichtbar werdende elektrische Funke ist an sich sehr klein und kurz; denn er entsteht erst dann, wenn sich die Schliefsungsdrähte beinahe berühren, und dabei ist die Farbe und Lichtintensität desselben verschieden nach dem Metall, durch welches die Schliefsung bewirkt wird, welche Verschiedenheit wahrscheinlich aus einem theilweise erfolgenden Verbrennen

an den Uebergangspuncten des elektrischen Stromes entspringt. Weifs und glänzend ist das Licht, wenn die Schliefsung durch Quecksilber erfolgt, röthliche, nach allen Richtungen sprühende Funken erhält man bei der Schliefsung mit einer feinen Spitze von Eisen oder Stahl.

Einen solchen Funken kann man schon von einer kleinen einfachen hydroelektrischen Kette erhalten (Dove's Repert. d. Phys. II. S. 113); stärker wird er aber, wenn mehre solche Glieder zu einer Batterie verbunden werden, jedoch nimmt die Intensität mehr mit der Gröfse der erregten Flächen als mit der Zahl der Glieder zu (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 921).

Mittels einer Grove'schen Kette von zwei Gliedern und mittler Flächengröfse (die erregte Platinfläche eines Gliedes von etwa 200 Q. cm) oder mit einigen Gliedern einer Bunsen'schen Kohlenkette erhält man schon recht lebhafte Lichterscheinungen, wenn man dabei so verfährt, wie folgende Versuche angeben.

Versuche. 1.) Bringt man die amalgamirten Enden der Poldrähte einer kräftigen Kette in Berührungsnähe, so entsteht ein kleiner sternförmiger weifser Lichtfunke, der von einem ähnlichen knisternden Geräusche begleitet ist, wie ein schwacher Funke der Reibungs-Elektricität.

2.) Man tauche den einen Poldraht in ein kleines Gefäfs mit Quecksilber, während man den andern der Oberfläche desselben nähert. — Es entsteht dann ein eben solcher Lichtfunke kurz vor der Berührung der Quecksilberoberfläche, auf welcher sich dann da, wo der Funke zum Vorschein kam, ein kleiner schwarzer Fleck zeigt.

3.) Der Funke, welchen man mittels amalgamirter Drähte erhält, entsteht selbst unter Wasser und ist in einer Lichtflamme noch sichtbar.

4.) Verbindet man mit dem einen Schliefsungsdrahte eine feine englische Nähnadel, und berührt man mit der Spitze derselben den anderen Pol der Säule, so erhält man einen Strahlenstern von kleinen röthlich sprühenden Funken. — Ein fortwährender Strom solcher Funken entsteht, wenn man eine kleine, am befsten runde oder dreieckige Feile mit dem einen Pole in leitende Verbindung setzt und über diese mit einem Kupferstreifen hin und her fährt, welcher mit dem anderen Pole beweglich verbunden ist.

5.) Läfst man die Enden der Schliefsungsdrähte sich in einer Oelflamme mit Rufs überziehen, so werden die Funken grofs und intensiv; am schönsten, wenn die berufsten Spitzen in der Flamme selbst einander gegenüber gehalten werden.

Bei dergleichen Versuchen soll man nach Nobili die stärksten Funken erhalten, wenn man sich zur Schliefsung der Kette eines recht langen spiralförmig oder durch Seide isolirt über einander gewundenen Kupferdrahtes bedient. (Poggendorff's Annal. XXVII. 438)

§. 519.

3.) Wärmeerregungen. — Wärme wird frei oder entwickelt, sobald die elektrische Strömung in einer Volta'schen Kette durch ihre Schliefsung eintritt. Sie zeigt sich sowohl in den angewendeten Leitern des Schliefsungsbogens, als auch in den Elektromotoren der Kette und in den sie erregenden Flüssigkeiten. Die Stärke der Wärmeerregung richtet sich dabei mehr nach der Gröfse als nach der Anzahl der Plattenpaare und ist am stärksten bei Ketten von hoher Spannungs-Differenz (bei Platin- und Kohlenketten). Es scheint mithin, dafs diese Wirkung mehr von der Quantität der Elektricität als von ihrer Intensität oder Dichte abhänge; jedoch mufs letztere auch mit darauf influiren, da nach Pfaff die doppelte oder dreifache Anzahl von Platten einen Draht stärker erhitzt, als wenn diese zu einer einfachen Kette verbunden wären; aufserdem ist dieser Effect auch noch von der Leitfähigkeit der Körper abhängig, indem schlechte Leiter bei gleicher Länge und Stärke beträchtlich mehr als gute Leiter erhitzt werden. Die eigentliche Ursache und Abhängigkeit dieser Wärmephänomene hat man auf verschiedene Weise zu erklären gesucht. Am befriedigendsten ist dieſs jedenfalls von Ohm geschehen, welcher annimmt, dafs die Gröfse der Wirkung von der im Innern des Körpers eintretenden Intensität des elektrischen Stromes, zugleich aber auch von dem Leitvermögen jenes abhänge; und nach den von Rieſs darüber

angestellten Versuchen hat sich ergeben, dafs das relative elektrische Erwärmungsvermögen eines Metalls im directen Verhältnifs zu dessen Verzögerungskraft oder seinem Leitungswiderstande, dagegen im indirecten zu seiner Wärmecapacität und seiner Dichtheit steht, oder dafs man diese relative Gröfse durch einen Bruch darstellen kann, der die Verzögerungskraft zum Zähler, die Wärmecapacität und das specifische Gewicht zum Nenner erhält (s. Poggendorff's Annal. XLV. S. 22). Uebrigens scheinen diese sämmtlichen Wärmephänomene eine Folge des Widerstandes zu sein, der sich der Vereinigung der ± Elektricitäten in den Leitern entgegensetzt, weshalb sie auch, alles Uebrige gleich vorausgesetzt, um so intensiver ausfallen, je gröfser die Elektricitätsmasse ist, deren Neutralisirung in der Kette vor sich geht.

An Metalldrähten, durch welche man die Pole einer hinlänglich kräftigen Kette schliefst, zeigt sich diese Wirkung durch ihr Erglühen oder selbst Verbrennen, und bei diesen sonst so guten Leitern entspringt das Hindernifs ganz augenscheinlich dadurch, dafs die Menge der durch sie strömenden Elektricität im Verhältnifs zu ihrem Querschnitte sehr grofs ist, weshalb auch Drähte von demselben Metall und derselben Länge um so intensiver glühen, je schwächer sie sind.

Bei sehr kräftig wirkenden Ketten, wie den Deflagratoren von Children, Hare und Strating, oder auch bei Platin- und Kohlen-Batterieen von gröfserer Fläche und etwa 10 bis 20 Gliedern (s. Poggendorff's Annal. LIV. S. 417, LV. S. 265, 270) steigt die Wärmeentwickelung auf einen so hohen Grad, dafs dadurch die strengflüssigsten Stoffe, die jeder Ofenhitze trotzen, geschmolzen und selbst verbrannt werden. Dabei zeigt sich noch die höchst merkwürdige Eigenthümlichkeit, dafs diese Erscheinungen

ier selbst unter Verhältnissen stattfinden, welche nicht rorhanden sein dürfen, wenn man sie auf dem gewöhnichen Wege, durch den Verbrennungsproceſs, hervorbringen will, indem Drähte und Kohlenspitzen unter Wasser in's Glühen gerathen und Metalle selbst in luftleerem und völlig trockenem Raume, so wie in Gasen geschmolzen und verbrannt werden, die den chemischen Proceſs der Verbrennung durchaus verhindern, wie z. B. Stickstoffgas und kohlensaures Gas. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 689, 921, VIII. S. 38, und d. Laboratorium Tab. CXXI u. CXXII.)

Als geeignete Versuche, durch die sich die wärmeerregende Kraft des hydroelektrischen Stromes nachweisen läſst, können folgende angestellt werden:

Versuche. 1.) Wollaston's Fingerhutapparat ist die kleinste hydroelektrische Kette, durch welche sich die erwärmende Kraft dieser Ströme sichtbar machen läſst. Die zweckmäſsigste Zusammensetzung dieses mikroelektrischen Glühapparats stellt Fig. 329 in natürlicher Gröſse dar. *P* ist ein Streifen von dünnem Silber-, noch besser aber von Platinblech, welcher so zusammengebogen wird, daſs er ungefähr in einem Abstande von 1 Linie ein amalgamirtes Zinkplättchen *Z* zu beiden Seiten umschlieſst. Die Isolirung zwischen beiden Metallen wird durch eingeschobene Korkstreifchen erlangt. *z* und *p* sind die beiden kupfernen oder silbernen, oben aufgeschlitzten Poldrähte, zwischen welche ein ganz feiner Platindraht, dessen Länge höchstens 1 Linie beträgt, eingeklemmt wird. Der Drahthenkel *h* dient dazu, diese kleine Kette in ein Glas eintauchen zu können, worin sich mit nur wenig Wasser verdünnte Schwefelsäure befindet (1 Theil Säure und 4 Theile Wasser). Der zwischen *p* und *z* durch den Draht gehende Strom versetzt diesen dann in's Glühen (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 690).

Zur Erzeugung stärkerer Glüh- und Verbrennungs-Phänomene eignen sich am beſsten Platin- und Kohlenketten, vorzüglich wegen ihrer beträchtlichen und stabilen Stromstärke. Mit einer solchen Batterie von 2 bis 6 Gliedern, wovon jedes circa 10 bis 20 Quad. Zoll Platin- oder Kohlenfläche hat, lassen sich schon recht glänzende Wirkungen dieser Art hervorbringen. Ungefähr gleiche Effecte erhält man mit einer Batterie von doppelt so viel Hare'schen Zink-Kupferspiralen, von welchen

jede 150 bis 300 Quad. Zoll erregte Kupferfläche haben muſs, jedoch ist ihre Wirksamkeit nur von kurzer Dauer, denn nach Verfluſs von einer Viertelstunde zeigt sich schon eine beträchtliche Abnahme der Stromstärke, während die erstgenannten Batterieen ihre Kraft selbst stundenlang ungeschwächt erhalten. Folgendes würden die hauptsächlichsten Resultate sein, die man mit solchen Batterieen erlangen kann.

2.) Verbindet man die Pole einer solchen Kette durch einen gegen $\frac{1}{4}^{mm}$ starken, einige Zoll langen Platin- oder Eisendraht, statt dessen auch ein Stück ganz schwacher Taschenuhrfeder genommen werden kann, so kommen diese Metalle in's Glühen. — Verkürzt man die Länge des Drahtes, so steigert sich die Hitze bis zum Weiſsglühen und Schmelzen; wird aber ein längeres und stärkeres Stück Draht genommen, so tritt nur eine mehr oder weniger beträchtliche Erhitzung desselben ein. — Wendet man Drähte von Kupfer oder Silber an, die mit den in's Glühen gekommenen von Platin oder Eisen gleiche Stärke und Länge haben, so werden diese in Folge ihres besseren Leitvermögens blos erhitzt, wogegen ein Schmelzen selbst längerer und stärkerer Drähte von Zinn und Blei erfolgt.

3.) Stellt man die Verbindung der Pole durch etwas stärkere, aber zugespitzte Platindrähte her, so fangen sie an den Berührungspuncten an zu schmelzen und können auf diese Weise zusammengelöthet werden. Dasselbe erfolgt eben so auch unter Wasser.

4.) Wird der Schlieſsungsdraht durch eine kleine Quantität einer Salzlösung geleitet, welche sich in einem Porzellannäpfchen oder in einem Uhrglase befindet, so geräth diese bald ins Sieden, während die auſserhalb der Flüssigkeit befindlichen Theile sich im glühenden Zustande erhalten.

5.) Schwefeläther, Alkohol, Phosphor, Schieſspulver und andere verbrennliche Körper werden entzündet, wenn der Schlieſsungsdraht ihre Oberfläche berührt oder durch sie geleitet wird.

Von dieser Wirksamkeit hydroelektrischer Ströme sind bereits Anwendungen zum Sprengen von Minen, selbst unter Wasser, mit Erfolg gemacht worden. Versuche über diese neue Zündmethode stellte, so viel bekannt, zuerst Hare 1832 in Nordamerika, und Morgan (s. Berzelius, Jahrb. XX. S. 143) bei'm Steinsprengen und anderen Minenanlagen mit befriedigendem Erfolge an. Die Anwendbarkeit dieser Zündung zu Kriegsminen wurde schon vor 10 Jahren bei Petersburg, angeblich mit gutem Erfolg, geprüft; später sind aber auch noch zu gleichem Zwecke in den Niederlanden (1837) und ins-

besondere zum Behuf von Sprengungen unter Wasser vom Obersten Pasley zu Chatham (1838 u. 1839) Versuche angestellt worden, bei welchen man sich ebenfalls nach den erhaltenen Resultaten von der Zweckmäfsigkeit und Sicherheit dieser Zündmethode überzeugte. In den Niederlanden bediente man sich einer inconstanten, aber ziemlich grofsen Wollaston'schen Batterie (von 40 Quad. Palmen wirksamer Kupferfläche), in England aber schon einer Daniell'schen constanten Batterie (von 10 Zellen, jede von 230 Quad. Zoll wirksamer Kupferfläche). (S. Archiv f. d. Offic. d. K. Pr. Artill. u. Ing. Corps IX. S. 1.0, 250.)

Im gröfsten Mafsstabe fand kürzlich (den 26. Jan. 1843) eine solche Felsensprengung in England statt, indem die in der Nähe von Dover liegende Felsenklippe Round-Down wegen der London-Dover Eisenbahn zerstört werden mufste. Der Ingenieur Cubitt liefs zu diesem Behufe in dem Felsen drei Minenöfen anlegen, die zusammen mit 18000 Pfd. Pulver geladen wurden, wobei der mittle 70 Fufs, die anderen beiden 55 Fufs von der äufseren Felsenbegrenzung entfernt waren. Die Entzündung wurde durch 18 Daniell'sche Elemente und 2 gewöhnliche Batterieen von 20 Plattenpaaren (die Flächengröfse dieser und der Daniell'schen Batterie ist nicht angegeben) in einer Entfernung von 1000 Fufs bewerkstelligt, nachdem man sich vorher versichert hatte, dafs die Entzündung selbst auf 3300 Fufs sicher eintrat. (Einen eben so sicheren Erfolg hätte man wahrscheinlich auch schon durch einige Grove'sche oder Bunsen'sche Kettenglieder erhalten). Es wurden dadurch gegen 300000 Cubik-Yard Kreidefelsen im Gewicht von ungefähr 600000 Tonnen auf einmal weggesprengt, und der vorstehende Felsen senkte sich auf eine Länge von 500 Fufs um ein Beträchtliches. (Polytechn. Centralbl. Jahrg. 1843 I. S. 286, und Dingler's polytechn. Journ. LXXXVII. S. 462.)

Von besonderem Vortheil ist es hierbei, dafs der Erfolg selbst auf noch bedeutendere Entfernungen mit Sicherheit eintritt (Basse in Hameln erhielt auf 4000 Fufs Entfernung am Ende der Leitungsdrähte noch ein starkes Erglühen von Platindraht, s. Archiv f. d. Offic. d. K. Pr. Artill. u. Ing. Corps IV. S. 171 1837, und Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 989), sowie dafs die Leitungen in der Luft fortgehen und auf oder in der Erde, selbst unter Wasser fortgeführt werden können, ohne dafs man eine Störung in ihrer Wirksamkeit zu befürchten hat, und durch die in dieser Beziehung aufserordentlichen und constanten Leistungen selbst kleiner Platin- und Kohlenketten ist gegenwärtig die Anwendbarkeit weit mehr erleichtert und die Kostspieligkeit vermindert worden, weil man sich nämlich bei den früheren Versuchen grofser Deflagratoren bedienen mufste.

Einen sehr werthvollen Beitrag zu den Beobachtungen über die Fortleitung dieser und auch anderer Stromwirkungen auf beträchtliche Entfernungen erhielten wir kürzlich von Jacobi in Poggendorff's Annal. LVIII. 409. Dieser Gelehrte, dem wir schon auf diesem Gebiete so mannigfache Erfahrungen und theoretische Begründungen verdanken, war im J. 1842 beschäftigt, behufs elektrotelegraphischer Zwecke Versuche über die beſste Fortleitung hydroelektrischer Ströme anzustellen. Er untersuchte dabei zugleich, in wie weit sich Wasser statt eines metallenen Leiters benutzen lasse, und gelangte dabei zu den weiter unten angeführten wichtigen Resultaten. Zuerst stellte er eine solche Leitung zwischen Oranienbaum und einem Arme des finnischen Meerbusens in einer Entfernung von 5600 Fufs her, welche zur Hälfte durch dessen Wasser, zur Hälfte aber durch einen isolirten Kupferdraht von $\frac{3}{4}$ Linien Durchmesser bewerkstelligt wurde, den man auf einem Damme fortgeführt hatte, so dafs folglich der ganze Leitungsbogen 11200 Fufs betrug. Als Stromerreger diente ihm eine Grove'sche Batterie von 24 Gliedern und auch eine gewöhnliche Volta'sche Säule von 150 Platten von 6 Zoll Seite. Von dem einen Pole der Batterie wurde eine Zinkplatte 5 Quad. Fufs grofs ins Meer, von dem entgegengesetzten Ende des Leitungsdrahtes eine ähnliche Platte in einen mit dem Meere in Verbindung stehenden Kanal gesenkt. Durch den Strom der Grove'schen Batterie wurden zur Schliefsung gebrauchte Kohlenspitzen und auch schwacher Platindraht zum Glühen gebracht, und es schien, als träten diese Erscheinungen mit gröfserer Intensität ein, als da, wo man sich auf gleicher Entfernung zweier neben einander befindlicher Kupferdrähte als Leitungen bedient hatte. Bei einem späteren Versuche wendete er eine ähnliche Leitung auf 9030 Fufs Entfernung zwischen dem kaiserlichen Winterpalais und der Fontanka nahe an der Obuchow'schen Brücke an. Die eine Leitung bestand aus einem unter der Erde fortgeführten Kupferdrahte, als andere diente die Neva, in welche von der einen Station aus eine Zinkplatte von 5 Quad. Fufs gesenkt wurde, während von der anderen eine eben solche Zinkplatte in einen kleinen Teich zu liegen kam, dessen Spiegel 5—6 Fufs höher als die Fontanka liegt, und der von ihr durch eine Schleufse getrennt ist. Als Elektromotor diente eine Batterie von 25 kleinen Daniell'schen Kettengliedern, mittels welcher dann auch, ungeachtet der grofsen Länge der Wasserstrecke, alle galvanischen (Volta'schen) und magnetischen Erscheinungen hervorgebracht wurden. Auf Veranlassung von Lenz prüfte man auch noch zwischen denselben Stationspuncten eine andere Art Leitung. Es wurde nämlich nun eine Verbindung mit einer Stelle des eisernen Daches vom Winterpalais, welches durch Ableitstangen mit der Erde in Verbindung steht, herge-

stellt, und dadurch mit demselben Erfolge die Fortleitung des Stromes in dem feuchten Erdboden vermittelt*).

*) Welchen Nutzen von dieser Zündmethode der Minenkrieg, namentlich für die Vertheidigung, vielleicht zu ziehen vermag, soll nur noch kurz angedeutet werden, da es hier nicht der Ort ist, darüber in weiteres Detail einzugehen. Zunächst ergiebt sich, dafs bei Anwendung der Zündung durch einen Volta'schen Strom die in ihrer Anlage und Unterhaltung so kostbaren Minengalerieen ziemlich ganz entbehrlich werden, da sich die Minenöfen an den entsprechenden Puncten in einfachen Schachtbrunnen anlegen lassen, von welchen aus sich dann die Leitungen über der Erde, unter derselben oder auch selbst durch Wasser fortführen lassen. Nach den bis jetzt gemachten Erfahrungen ist auch die Möglichkeit constatirt, in jeder Bodenbeschaffenheit Minenanlagen ausführen zu können, denn es wird nicht schwer halten, Mittel ausfindig zu machen, durch die man, selbst in Tiefen, wo die Pulverladungen schon ins Grundwasser kommen, diese gegen den Einflufs der Feuchtigkeit gehörig verwahren kann, und wo dann gleichfalls durch dieses Mittel auch ihre Zündung vollkommen gesichert ist. Eben so werden im Felsboden die Anlagen mit weniger Schwierigkeiten verknüpft sein, da, wie schon erwähnt, die Minengänge entbehrlich werden. Bei Festungen mit Wassergräben, oder auch bei solchen, wo der Boden nur hinlänglich feucht ist, wird man das Wasser oder die Beschaffenheit des letzteren mit Vortheil dazu benutzen können, den elektrischen Strom nach verschiedenen Richtungen fortzuleiten, während dann nur noch von dem Puncte, wo er seine Zündwirkung ausüben soll, eine zweite Leitung zur Volta'schen Batterie anzulegen wäre. Die Batterie aber, als Zündungsheerd, könnte in einem oder nach Erfordern auch in einigen Exemplaren an geeigneten Puncten im Innern der Festung stationär und vollkommen gesichert aufgestellt werden, von wo in jedem Augenblicke, durch Schliefsung der Kette mit dem entsprechenden Zuleitungsdrahte die Zündung eines jeden einzelnen oder auch mehrer Minenöfen zugleich erfolgen würde. Dabei wären die Anlagekosten für diese Apparate, sowie die nöthigen Leitungen gegen die, welche die bisherigen Minengewebe erfordern, ganz unbedeutend. Weniger Nutzen würde allerdings der Angreifende aus dieser neuen Zündmethode ziehen können; denn sobald er nicht eine nach der bis jetzt üblichen Weise contreminirte Festung anzugreifen hätte, würde er auch einen der Hauptzwecke seiner Minenanlagen, nämlich die Zerstörung der Contreminengalerieen, gar nicht erreichen können, sondern im glücklichen Falle würde es ihm dann immer nur gelingen, vielleicht eine oder einige Leitungen der Contreminen zu zerreifsen, abgesehen noch davon, dafs ihm bei Anwendung dieser Zündung mancherlei Hindernisse und Schwierigkeiten entgegentreten würden, die für den Vertheidiger nicht vorhanden wären oder von diesem doch leichter und schneller beseitigt werden könnten. Es sind diefs, wie es scheint, gewichtige Gründe genug, dafs man, auf diese Vorarbeiten und Erfahrungen gestützt, durch weitere Versuche hierüber sich eines so wich Vertheidigungsmittels der Festungen noch mehr zu vergs sern suchte.

6) Hängt man an den einen Poldraht einen Streifen ächtes Blattgold, Blattsilber, unächtes Blattgold (Kupfer), unächtes Blattsilber (Zink), ganz dünne Zinn- oder Bleiplättchen und berührt mit ihnen den anderen Poldraht oder eine mit diesem verbundene Metallplatte, so tritt an der Berührungsstelle ein Verbrennen und Verdampfen der Metallstreifchen unter zischendem Geräusch und mit verschiedenfarbigem Lichte ein. — Gold verbrennt mit weifsem ins Bläuliche spielendem Lichte und hinterläfst ein dunkelbraunes Oxyd; Silber verbrennt mit glänzend meergrünem Lichte und Verbreitung von graulichen Dämpfen; bei verbrennendem Kupfer entsteht ein blaugrünes Licht, untermengt mit rothen Funken und grünlichem Rauche; Zink verbrennt mit blendend weifsem Lichte und weifsen Dämpfen; Zinn auf gleiche Weise mit rothen Funken; Blei mit Purpurlicht. — Noch lebhafter erfolgen diese Metallverbrennungen, wenn man den einen Pol der Kette mit Quecksilber verbindet und mit dem am andern Poldrahte befindlichen Metalle das Quecksilber berührt.

7.) Die glänzendste Erscheinung dieser Art ist das Erglühen von Kohlenspitzen. Den befsten Erfolg gewähren hierbei zugespitzte Stückchen der Graphitkohle aus Gasretorten; aufserdem können sie auch aus der Bunsen'schen Kohlenmasse angefertigt werden. Setzt man zwei solche Kohlenspitzen in gut leitende Verbindung mit den Poldrähten, und bringt die Spitzen in gegenseitige Berührung, so beginnen diese mit dem blendendstem weifsen Lichte zu glühen. Mit dem Riesenapparate der Royal-Institution geriethen die Kohlenspitzen bei einer Annäherung von $\frac{1}{10}$ Zoll ins Glühen; glühten sie aber recht intensiv, so fuhr ein anhaltender Lichtstrom zwischen ihnen zu spielen fort, auch wenn man sie nach und nach selbst bis zu der Weite von 4 Zoll von einander entfernte (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 923). Einen eben solchen Flammenbogen erhielt Prof. Bunsen mit einer aus 4 Gliedern bestehenden Kohlenbatterie von 29 Fufs Kohlenoberfläche (s. Poggendorff's Annal. LV. S. 270.). In diesem Lichtstrome ist eine so intensive Hitze, dafs dicke Platindrähte, Saphir, Quarz, Talk und Kalk in förmlichen Flufs gekommen sein sollen. Dabei zeigt sich noch das Merkwürdige, dafs keine eigentliche Verbrennung der Kohlen stattfindet, denn sie erleiden einen verhältnifsmäfsig nur geringen Verlust und verdichten sich dabei zugleich an den Spitzen. Mit noch intensiverem Lichtglanze ist die Erscheinung begleitet, wenn sich die Kohlenspitzen in einem luftverdünnten Raume befinden, so wie sie auch in Gasarten erglühen, welche eine eigentliche Verbrennung unmöglich machen. — Anstatt zweier Kohlenspitzen kann man sich auch blos eines Stückes solcher Kohlenmasse bedienen, welches man auf

Quecksilber legt, das mit dem einen Pole der Kette in Verbindung steht und nun die Schliefsung vom anderen Pole aus mit einem Streifen Platinblech herstellt. Einen für die Augen kaum erträglichen Lichtglanz erhielt ich hierbei, als ein Stückchen gut gebrannter englischer Coaks angewendet wurde.

Eine ausführlichere Beschreibung dieser und auch noch anderer höchst interessanter Versuche, welche Prof. Stratingh mit seinem §. 511, S. 866 angeführten Deflagrator anstellte, so wie auch die Abbildungen der dazu gebrauchten Hilfsapparate, findet man in dem Laboratorium bei den Erklärungen zu der CXXII. Kupfertafel, welche aus der Originalschrift: Bijdragen tot de Natuurkundige Wetenschappen, verzameld door H. C. Van Hall, W. Vrolik en G. Mulder. Zevende Deel, Nr. III. 1832. entlehnt ist.

Solche Wärmeerregungen entstehen aber nicht blos in dem Schliefsungsbogen der Kette, wie es bei den vorher beschriebenen Versuchen der Fall war, sondern sie treten in entsprechender Stärke eben so auch in der Kette selbst ein, und zwar gewahrt man diefs sowohl an den Elektromotoren, als auch an der Erregungsflüssigkeit, nur mit dem Unterschied, dafs die Temperaturerhöhung hier nicht so beträchtlich werden kann, weil der Querschnitt der Leitungsfläche weit gröfser ist.

§. 520.

4.) Physiologische Wirkungen. — Die physiologischen Wirkungen des hydroelektrischen Stromes sind, was die Affection der thierischen Nerven und Muskeln betrifft, dem Wesen nach denen der Reibungs-Elektricität gleich, jedoch werden sie besonders modificirt durch die ununterbrochene Fortdauer des Stroms und charakterisiren sich von jenen der Reibungs-Elektricität durch die bei ihnen bestimmter hervortretende chemische Wirksamkeit in der Geschmacksempfindung und durch eine eigenthümliche Reizung der Sehnerven. Die Reizwirkungen der Geschmacks- und Sehorgane treten schon bei ganz kleinen einfachen Ketten ein, wogegen die Einwirkungen auf das Gemeingefühl, die Nervenerschütterungen und Muskelcontractionen, wenn die Schliefsung der Kette durch den menschlichen Körper erfolgt, erst bei zusammengesetzten Ketten

wahrnehmbar werden, und zwar nehmen diese Wirkungen mit der Zahl der Glieder fast ins Unbestimmte zu, während die Gröfse der erregten Oberflächen darauf durchaus keinen bemerkbaren Einfluſs ausübt. Deshalb sind zu solchen Erschütterungsversuchen hauptsächlich die Volta'schen Säulen oder auch die Faraday-Young'schen Trogbatterieen (§. 511. S. 865) geeignet, bei denen dann schon eine Plattengröfse von etwa 2 Quad. Zoll vollkommen ausreichend ist. Die wirksamsten groſsplattigen Apparate, so wie die auf gleiche Weise bei den Glühphänomenen so Auſserordentliches leistenden Platin- und Kohlenketten, zeigen sich in diesen Kraftäuſserungen ihres Stromes fast ganz wirkungslos. Diese so auffallend verschiedenartige Wirksamkeit der zusammengesetzten Ketten aus vielen und kleinen Plattenpaaren, gegen solche, aus wenigen, aber groſsflächigen combinirt, findet eine völlig befriedigende Erklärung nach dem Ohm'schen Gesetze (§. 516, S. 893). In allen den Fällen nämlich, wo der Strom auf schlecht leitende Körper eine kräftige Wirkung ausüben soll, muſs man die Dichtheit der Elektricität in ihm durch die Zahl der Kettenglieder möglichst erhöhen, damit der im Schlieſsungsbogen vorhandene groſse Leitungs- und Uebergangs-Widerstand, wie ihn z. B. der eingeschaltete menschliche Körper hervorbringt, leichter überwunden werden kann, wogegen dieser Zweck durch Vermehrung der Quantität der Elektricität, wie z. B. durch Vergröſserung der erregten Oberfläche oder durch Anwendung kräftiger wirkender Combinationen, nicht zu erreichen ist, weil dadurch nur der in der Kette vorhandene, ohnedieſs gegen jenen nur geringe Widerstand noch etwas vermindert wird. Eben so erklärlich ist es auch, warum diese Wirkungen bedeutend stärker ausfallen, wenn man die Theile des menschlichen Körpers, durch welche die Schlieſsung der Kette hergestellt

wird, mit einer gut leitenden Flüssigkeit befeuchtet, noch mehr aber, wenn die Schliefsungsstellen zugleich von grofsen Metallflächen berührt werden, weil dadurch nämlich der bedeutende am menschlichen Körper vorhandene Uebergangswiderstand hauptsächlich vermindert wird. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 701—740. 931—938. VIII. S. 56.)

Angenommen, in einer mit der elektromotorischen Kraft 1 wirkenden einfachen Kette sei der Leitungswiderstand des eingeschalteten menschlichen Körpers 100 Mal gröfser als der in der Kette, so wird ihr Stromeffect auf diesem nach Ohm's Formel durch $\frac{1}{1+100} = \frac{1}{101}$ ausgedrückt. Bildete man aber eine Kette aus 100 solchen Gliedern, dann würde ihre Wirkung $\frac{100}{100+100} = \frac{1}{2}$ werden, mithin bedeutend gröfser als bei jener einfachen Kette ausfallen, wogegen sich aber für eine einfache Kette, deren elektromotorische Kraft 100 Mal stärker oder deren Leitungswiderstand so viele Male schwächer wäre, der Stromeffect auf den menschlichen Körper nur zu $\frac{1}{\frac{1}{100}+100}$ od. $\frac{1}{100,01}$ ergäbe, welcher Werth ganz unbedeutend gröfser als der jener einfachen Kette ist, die blos $\frac{1}{100}$ dieser elektromotorischen Kraft besitzt.

Folgendes sind einige der hauptsächlichsten Versuche, durch welche sich auch diese Wirkungen des Volta'schen Stromes nachweisen lassen.

Versuche. 1.) Zunächst gehört hierher Galvani's Fundamentalversuch. — Sobald man nämlich an einem getödteten Frosche den Nerv des Rückgrats und den Muskel eines Schenkels mit zwei verschiedenartigen Metallen, z. B. Zink und Silber oder Kupfer, berührt und diese nachher in Contact bringt, so treten in dem Froschpräparate heftige Muskelcontractionen ein. Es wiederholen sich dieselben bei jeder erneuten Schliefsung dieser Kette und sind oft noch nach einer Stunde, vorzüglich bei jungen Fröschen, wahrnehmbar. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 701., Singer, Elemente d. Elektricität etc. p. 189. u. Pouillet, Lehrb. d. Phys., übers. v. Müller I. S. 429.) — Als ein sehr wirksames und leichtes Ersatzmittel der Froschpräparate schlägt Bailey die Hinterbeine der gewöhnlichen Heuschrecken vor. (S. Poggendorff's Annal. LXIII. S. 412.)

2.) Nervenreiz auf einen Blutegel. Man lege eine blanke Silbermünze, z. B. ein Thalerstück, auf eine gröfsere metallisch reine oder amalgamirte Zinkplatte und bringe auf das Silber einen lebenden Blutegel. — Sobald dieser bei seinen Bewegungen das Zink berührt und also das Silber mit diesem in leitende Verbindung setzt, fährt er mit Zuckungen von der berührten Stelle zurück. (Singer, Elemente d. Elektr. S. 191.)

3.) Anregung der Geschmacksnerven des Menschen. — Wenn man eine hydroelektrische Kette dergestalt durch die Zunge schliefst, dafs der eine Poldraht die Zungenspitze, der andere eine befeuchtete Stelle des Gesichtes berührt, oder die Schliefsung der Kette mit der in Salzwasser eingetauchten Hand herstellt, so erzeugt das auf der Zunge liegende Metall eine verschiedene Geschmacksempfindung, je nachdem es die positive oder die negative Elektricität zuleitet. Die + Elektricität erregt nämlich einen säuerlich kühlen, die — Elektricität dagegen einen bitterlich brennenden oder alkalischen Geschmack. Die Ursache hiervon beruht eigentlich auf einer chemischen Wirkung des Stromes, wodurch der auf der Zunge befindliche Speichel zerlegt wird. — Man kann diese Wirkung schon durch eine ganz kleine einfache Kette erhalten, wenn man dazu einen silbernen Löffel und ein blankes Streifchen Zink anwendet, indem man das eine Metall auf, das andere unter die Zunge legt und dieselben vor dem Munde in Berührung bringt. Deutlicher aber treten diese Wirkungen ein, wenn man dazu eine Kette von etwa 6—10 Paaren anwendet. (S. Gehler's phys. Wrtb. IV. S. 734.)

4.) Anregung der Gesichtsnerven. — Vor den Augen entsteht ein eigenthümlicher Lichtblitz oder Lichtschein, wenn man eine Volta'sche Kette an zwei Stellen des Körpers schliefst, zwischen welchen die Augen liegen, wie z. B. die beiden Augenwinkel, oder indem man mit dem einen Pole die befeuchtete Hand, mit dem Leitungsdraht des andern Poles aber einen Augenwinkel, oder ein auf das geschlossene Auge gelegtes Stück Zinnfolie berührt. Diese Erscheinung tritt beim Schliefsen der Kette ein, in schwächerem Grade auch beim Oeffnen derselben. — Eine solche, jedoch schwächere, Lichtempfindung entsteht schon, wenn man mit dem Stiele eines silbernen Löffels das Zahnfleisch zwischen dem einen Backen, mit einem Zinkstreif aber das zwischen dem anderen berührt und dann die Schliefsung der Kette durch den Contact der Metalle vor dem Munde bewirkt. Lebhafter fällt die Erscheinung bei Anwendung einer kleinen Säule von etwa 10 Elementen aus, deren Schliefsung dann auch mit der Hand und an einer befeuchteten Stelle im Gesicht erfolgen kann. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 736, 936.)

5.) Affection der Gehörnerven. — Verbindet man die Poldrähte einer kleinen Säule mit dem Innern beider Ohren, so empfindet man im Augenblicke der Schliefsung eine schwache Erschütterung im Kopfe und hört während des Geschlossenseins ein Geräusch. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 937.)

6.) Muskelcontractionen und Nervenerschütterungen. — Um eine schon bemerkbare elektrische Erschütterung zu erhalten, ist eine Säule von wenigstens 10 bis 15 Plattenpaaren erforderlich; mit einer Säule von 50 — 100 Paaren wird der Schlag schon bedeutend stark und erregt krampfhafte Zuckungen in den Fingern, den Armen, selbst bis in die Brust, und eine besonders brennend stechende Empfindung tritt an wunden Hautstellen ein. Bei genauerer Beobachtung dieser Wirkung auf die Nerven sind drei verschiedene Momente unterscheidbar; zuerst erhält man nämlich, im Augenblicke der Schliefsung der Kette, eine elektrische Erschütterung, dann bringt die ununterbrochene Fortdauer der Strömung rasch auf einander folgende Zuckungen hervor, und beim Oeffnen der Kette tritt eine abermalige, jedoch schwächere Erschütterung ein. Von dem Schlage einer mäfsig geladenen Leidener Flasche unterscheidet sich der Schlag einer Volta'schen Säule dadurch, dafs jener weit weniger nach innen wirkt, die Organe gleichsam mehr nur äufserlich afficirt und in einem Momente erschöpft ist, der Volta'sche dagegen mehr in das Innere der Organe eindringt, und man gleichsam seine Fortpflanzung im Innern längs dem Laufe der Nerven recht deutlich unterscheidet, jedoch wird diese fortdauernde Nervenaffection hauptsächlich nur bei Säulen von einer gröfseren Anzahl von Plattenpaaren (wenigstens 40 — 50) wahrgenommen. Diese physiologischen Wirkungen können aber, nach den oben angeführten Ursachen, dadurch bedeutend gesteigert werden, dafs man in die mit Salzwasser befeuchteten Hände zwei Metallcylinder (Conductoren) nimmt und nun mit diesen die Kette schliefst. Auf solche Weise kann der Volta'sche Erschütterungsschlag selbst durch mehre Personen fortgepflanzt werden, sobald sich dieselben mit hinlänglich genäfsten Händen fest anfassen. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 941.) — Da die stärkste Wirkung stets beim Schliefsen und Oeffnen der Kette eintritt, so wird der Stromeffect auch dadurch auffallend erhöht, wenn ein schneller Wechsel des Schliefsens und Oeffnens der Kette eintritt. Zu diesem Zwecke dient eine einfache Vorrichtung, ein Stromunterbrecher, bestehend aus einer kupfernen Kreisscheibe, deren Peripherie mit Zähnen versehen ist, in welch[illegible] metallener Sperrkegel oder eine solche [illegible] einlegt. [illegible] wird nun mit einem der beiden Pole [illegible] bei

bindung gebracht, während der Sperrkegel oder die Feder mit dem in der einen Hand gehaltenen Conductor, der mit der anderen Hand umfafste aber mit dem anderen Pole in Verbindung gesetzt wird. Beim Drehen des Rades oder des Sperrkegels, welches entweder durch eine kleine Kurbel oder bequemer durch eine aufgezogene Uhrfeder bewerkstelligt werden kann, findet ein fortwährendes Oeffnen und Schliefsen der Kette statt, und bei jedem solchen Wechsel wiederholt sich die Stromwirkung in dem menschlichen Körper. Eine ähnliche Vorrichtung ist auch das zuerst von Neef zu diesem Zwecke vorgeschlagene sogenannte Blitzrad (s. Poggendorff's Annal. XXXVI. S. 352). Diese Benennung hat Neef seinem Apparate deshalb gegeben, weil bei ihm so wie auch bei dem vorher beschriebenen Zahnrade, wenn durch sie die Verbindung zwischen den Polen einer grofsplattigen oder starkwirkenden Batterie hergestellt wird, bei jeder Unterbrechung der elektrische Funke erscheint, der sich besonders dann gut ausnimmt, wenn der Sperrkegel das Rad umkreist. — Trockene Säulen (§. 513) bringen selbst bei einer sehr grofsen Anzahl von Plattenpaaren keine merklichen physiologischen Wirkungen hervor (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S, 931. VIII. S. 56).

Die Nervenaffectionen hydroelektrischer Ströme sind schon in vielen Fällen mit Erfolg zur Wiederbelebung Scheintodter angewendet worden; besonders merkwürdig sind aber auch noch die Versuche, die man an Cadavern von Menschen und gröfseren Thieren angestellt hat. Aldini bewirkte durch eine Volta'sche Säule an einem solchen Leichname heftige Bewegungen der Füfse, die Augen öffneten sich und schlossen sich wieder, Mund, Backen und das ganze Gesicht verzerrten sich. Ure beobachtete an einem seit einer Stunde Gehängten, als er den Supraorbitalnerv mit dem einen und den Nerv der Ferse mit dem anderen Pole einer solchen Batterie verband, beim Schliefsen der Kette eine furchtbare Thätigkeit der Muskeln, so dafs Wuth, Verzweiflung und Angst, mit schrecklichem Lächeln, sich nach einander im Gesichte ausdrückten; ja es trat sogar ein tiefes und angestrengtes Athmen ein. Aehnliche Erscheinungen kann man auch an dem Kopfe eines kurz zuvor getödteten Schafes, Kalbes oder anderen Thieres erhalten. Eine ausgerissene Krebsscheere, durch die ein solcher Strom geht, zwickt heftig zusammen; eine auf einem Tische angenagelte Ochsenzunge zieht sich, wenn man den Strom durch sie leitet, so heftig zusammen, dafs sie den Nagel herauszieht. (Ausführlichere Beschreibungen aller der verschiedenartigen physiologischen Wirkungen findet man auch noch in Marbach's phys. Lex. II., S. 614—638.)

§. 521.

5.) Chemische Wirkungen. — Die chemischen Wirkungen des hydroelektrischen Stromes sind unstreitig von allen Wirkungen der einfachen wie der zusammengesetzten Ketten die wichtigsten. Sie wurden bald nach Erfindung der Volta'schen Säule durch Charlisle und Nicholson entdeckt; unsere Kenntnifs davon ist aber in der neuesten Zeit durch Faraday's Untersuchungen wesentlich vermehrt worden, und namentlich verdanken wir demselben die Auffindung mehrer dabei stattfindenden Gesetzlichkeiten.

Zur Hervorbringung solcher Wirkungen mufs der Strom durch den zu zersetzenden Körper hindurch geleitet werden; sie beginnen dann mit der Schliefsung der Kette und dauern während des Geschlossenseins derselben fort. Die zu zersetzenden Substanzen müssen aber Elektricitätsleiter sein und ihre Theilchen sich im Zustande freier Beweglichkeit befinden, welches Letztere erlangt wird, wenn man sie durch Auflösung oder Schmelzung flüssig macht. Es äufsert sich dann die chemische Wirksamkeit sowohl bei den in der Kette angewandten elektromotorischen Flüssigkeiten, als auch bei solchen flüssigen Stoffen, die in den Schliefsungskreis der Kette gebracht werden. Allein nicht alle chemisch zusammengesetzten Körper sind durch einen elektrischen Strom ursprünglich zerlegbar, sondern es giebt solche, bei denen diefs nur durch secundäre Wirkungen eintritt. Faraday hat diefs zuerst nachgewiesen (Faraday's 7te Reihe, Poggendorff's Annal. XXXIII. S. 304, 434) und nennt alle durch den Strom unmittelbar zersetzbaren Substanzen Elektrolyte, die Bestandtheile, in welche sie zerlegt werden, Ionen, den Act selbst aber Elektrolysirung.

Die Zersetzbarkeit der Elektrolyten in Ansehung der elektromotorischen Kraft, die dazu erfordert wird, ist sehr verschieden. Ein ganz schwacher Strom reicht hin, um Jodkalium zu zersetzen, während zur Zersetzung des reinen Wassers schon eine beträchtliche Stromstärke erfordert wird, und die Zerlegung von Alkalien gelingt nur bei Anwendung sehr kräftiger Ströme. Ist aber der Strom an und für sich zu schwach, so kann bisweilen die Zersetzung bewirkt werden, wenn eine in gleichem Sinne vorhandene chemische Verwandtschaft mithilft, wo nachher wenigstens einer der Bestandtheile ausgeschieden wird oder eine neue Verbindung eingeht. Zeigt aber eine Flüssigkeit auch keine wahrnehmbare Zersetzung, so ist deshalb keinesweges zu folgern, dafs sie ganz fehle, denn immer giebt dann noch der Galvanometer die Durchleitung des Stromes durch die Flüssigkeit an. Ueberhaupt aber ist der chemische Stromeffect sowohl von der Quantität, als auch von der Intensität der Elektricität, welche durch einen Elektrolyten hindurchgeht, abhängig, und zwar wird **dieſs hauptsächlich durch das Leitvermögen des letzteren bestimmt.**

Dem Ohm'schen Gesetze entsprechend und durch die Erfahrung bestätigt, hat sich in dieser Beziehung Folgendes ergeben: Besitzt der zu zersetzende Körper ein sehr geringes Leitvermögen, so wird dessen Elektrolysirung nur durch eine vielgliederige Kette erreicht, und es ist eine um so gröfsere Zahl der Kettenglieder erforderlich, je gröfser die chemische Verwandtschaft ist, mit der die Bestandtheile des Elektrolyten zusammenhängen. Hier wirkt also hauptsächlich die Intensität der Elektricität entscheidend, während eine gröfsere Quantität durch Vergröfserung der erregten Oberflächen eben so wenig wie eine Verminderung des Leitungswiderstandes in der Kette durch besser leitende Erregungsflüssigkeiten wesentlich zur Verstärkung dieser Wirkung beitragen kann. Ist aber der Elektrolyt ein guter oder besserer Elektricitätsleiter, so wird auch dann durch Vergröfserung der erregten Oberflächen der Elektromotoren und durch besser leitende Flüssigkeiten zwischen

diesen die chemische Zersetzungswirkung merklich erhöht; auch kann dadurch eine Steigerung der Wirkung erhalten werden, wenn man den Leitungswiderstand des Elektrolyten vermindert, indem man dessen Länge und Querschnitt verringert, weil dann in ihm die Intensität des Stromes erhöht wird.

Ritchie glaubt, aus mehren solchen Versuchen gefunden zu haben, dafs sich der chemische Effect des Stromes wie die Quadratwurzel aus der Zahl der Kettenglieder verhalte. Deshalb würde es vortheilhafter sein, z. B. 8 einfache Ketten zu zweien von vierfacher Oberfläche, als sie zu einer einzigen von 8 Gliedern zu combiniren, denn in diesem Falle verhielte sich die Wirkung der ersteren zu der der zweiten wie 4√2 zu 1√8, oder wie 2√8 zu 1√8, d. i. wie 2 : 1.

Besonders wichtig war aber die Entdeckung, dafs sich bei allen derartigen Zerlegungen die Bestandtheile der zerlegten Stoffe an den Metallflächen ausscheiden, welche den Strom in den Elektrolyten leiten, und zwar so, dafs gewisse Bestandtheile stets an der einen, andere dagegen nur an der andern zum Vorschein kommen. So sammeln sich an dem Metalle, welches mit dem + Pole der Kette in Verbindung steht, Sauerstoff, Chlor, Jod und die Säuren, an dem aber, welches mit dem — Pole verbunden ist, Wasserstoff, die meisten brennbaren Körper, die Salzbasen und die Metalloxyde.

Man schrieb dieſs einer besonderen anziehenden und abstoſsenden Kraft gegen die Bestandtheile des zu zersetzenden Körpers zu, welche von den Polen der Kette an die Fortleiter ihrer Elektricität in die Flüssigkeit überginge, wodurch dann die Zersetzung des Körpers bewirkt würde. Faraday glaubt aber (7te Reihe von Poggendorff's Annal. XXXIII. S. 301), dafs die bestimmende Kraft nicht von den Polen ausgehe, sondern in dem zersetzt werdenden Körper liege, wodurch der eine Bestandtheil zum negativen, der andere zum positiven Ende gemacht würde, woraus sich dann ihr Auftreten an den Polenden erklärte. Diese Polenden in dem Schliefsungsbogen einer hydroelektrischen Kette betrachtet er als die Aus- und Eintrittswege der elektrischen Action, von welchen aus sich die Wirkung, die wir als Strom bezeichnen, durch den Elektrolyten fortpflanzt, und in diesem Sinne hat er folgende entsprechende Benennungen vorgeschlagen. Die Pole der Schliefsung: welche sich in einer zu elektrolysirenden Flüssigkeit

nennt er Elektroden, und zwar den, welcher vom + Pole der Kette ausgeht, also die positive Elektrode, Anode, den, welcher vom — Pole ausgeht, also die negative Elektrode, Kathode; ein Ion, welches zur Anode wandert, heifst Anion und ein zur Kathode übergehendes Kathion. In materieller Beziehung ist es nicht absolut nöthig, dafs die Elektroden aus Metallen bestehen, ihre Oberfläche kann auch Luft, Wasser oder irgend eine andere Substanz sein, nur mufs durch sie der Strom in die zu zerlegende Flüssigkeit übergehen.

Fechner dagegen hat es versucht, die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes als von den elektrischen Grundkräften abhängig zu erklären (s. Poggendorff's Annal. XLIV. S. 37). Er nimmt an, dafs in jedem Elektrolyten zwischen dessen Bestandtheilen derselbe Procefs vorgeht, wie bei dem Contact zweier Elektromotoren. Beide Bestandtheile befänden sich nämlich durch den Einfluss ihrer Berührungsnähe im entgegengesetzt elektrischen Zustande, vermöge dessen sie sich gegenseitig anzögen und gebunden erhielten. Sobald man nun durch einen Elektrolyten die Schliefsung einer Volta'schen Kette hergestellt habe, so würden sich dessen Bestandtheile, bevor die Elektrolysirung eintritt (in Folge der von den erregten Elektromotoren ausgehenden elektrischen Vertheilung oder Polarisation (s. §. 510 S. 856) so anordnen müssen:

$$+\text{ Pol}\ \begin{bmatrix}(a\ .\ b)\ (c\ .\ d\ (e\ .\ f)\\ (-+)\ (-+)\ (-+)\ (-+)\end{bmatrix}\ -\text{ Pol.}$$

Soll nun eine Trennung der Bestandtheile a und b erfolgen, so mufs die anziehende Kraft des + Poles auf das negative Theilchen a gröfser sein, als die, durch welche es mit dem + b verbunden ist. In einem solchen Falle wird sich dann das Theilchen a entweder mit der Substanz des Poles (der Elektrode) selbst verbinden, wenn nämlich die chemische Bedingung dazu vorhanden ist, oder es wird nur durch die Einwirkung des Poles an diesem ausgeschieden; hierauf aber tritt von letzterem eine abstofsende Wirkung auf das Theilchen b und eine anziehende auf das c ein. Dadurch werden diese beiden Theilchen einander genähert; es entsteht zwischen ihnen eine momentane Verbindung, die jedoch durch die fortlaufende und überwiegende Wirkung des + Poles eben so schnell wieder zerfällt, als sie entsteht, und so pflanzt sich diese Wirkung gleichmäfsig durch die ganze zwischen den Polen (Elektroden) befindliche Schicht des Elektrolyten fort. b und c kehren vermöge der Fortwirkung des Poles ihre Lage um; dann wird b auf d abstofsend, dagegen auf e anziehend wirken, mithin wird d nach dem — Pole getrieben, e von dem + Pole angezogen u. s. f. Dieselbe Wirkung, welche, vom + Pole ausgehend, auf die Bestandtheile des Elektrolyten angenommen wurde,

würde auch vom — Pole aus erfolgen, nur nach dem elektrischen Attractionsgesetze in entgegengesetzter Weise und in entgegengesetzter Richtung, wo dann auch die gleichzeitige und in gleichem Sinne stattfindende Wirkung beider Pole, die Elektrolysirung, eingeleitet und unterhalten würde.

Dieser Ansicht gemäfs wird also die fortdauernde Strömung allerdings durch die chemische Zersetzung und Ueberführung der Bestandtheile vermittelt, aber diese selbst ginge doch ursprünglich aus dem Contacte hervor. Der Erfolg hierbei ist derselbe, als wenn die Elektrolyten blos Leiter wären, ohne Erreger zu sein; der innere Hergang ist aber ganz anders. Es führen nämlich die aus der Elektrolyse hervorgehenden Bestandtheile nicht die von den Metallen empfangene Elektricität, sondern ihre eigenen entgegengesetzten Elektricitäten, die ihnen zufolge ihrer chemischen Verbindung zukommen, nach entgegengesetzten Richtungen fort. Indem aber durch diese Elektricität die entgegengesetzten der Elektromotoren neutralisirt werden, wird auch in allen Erregern (metallischen Gliedern) der Säule beständig eine neue Erregung und Strömung der Elektricität eintreten müssen.

Es wurde bereits angeführt, dafs nicht alle chemisch zusammengesetzten Körper unmittelbar durch den Strom zersetzbar seien. Faraday unterscheidet deshalb primäre und secundäre Zersetzungen. Primär werden nur die Elektrolyten zersetzt, und zu ihnen gehören nach Faraday's Untersuchungen blos solche Stoffe, bei welchen ein Aequivalent des einen Elementes oder Bestandtheils mit einem Aequivalent des anderen verbunden ist, wie dies z. B. von den Paaverbindungen bei dem Wasser, Chlorwasserstoff, Jodkalium etc., von den Doppelpaaren bei dem schwefelsauren Natron, salpetersauren Kali und ähnlichen binären Verbindungen der Fall ist, wogegen mithin Salpetersäure, Schwefelsäure und Ammoniak keine Elektrolyte sind, in Folge dessen diese nur durch secundäre Wirkungen zersetzt werden, wobei in vielen Fällen die Elektrolyse des Wassers eine wichtige Rolle spielt. Bei der Zerlegung eines Elektrolyten treten aber zugleich gleichzeitig neue chemische Verbindungen ein, welche

Elemente und Bestandtheile im Augenblicke ihres Entstehens einander berühren, was ihre chemische Verbindung besonders begünstigt. In manchen Fällen sind es die metallischen Elektroden oder Poldrähte selbst, mit denen sich die verschiedenen Bestandtheile chemisch verbinden, wodurch dann ihre Oberfläche verändert wird, oder es können sich auch die nascirenden Bestandtheile des Auflösmittels mit den zugleich frei werdenden des aufgelösten Körpers chemisch vereinen, wonach sich dann auch die Zersetzungsproducte bestimmen, welche an den Polen ausgeschieden werden (7te Reihe von Poggendorff's Annal. XXXIII. S. 306, 434).

Bei der Zersetzung des Wassers und wässeriger Lösungen treten diese secundären Wirkungen am häufigsten ein. Bestehen die Elektroden aus Gold oder Platin, so wird an der + Elektrode der Sauerstoff, an der negativen der Wasserstoff ausgeschieden; nimmt man aber zur + Elektrode ein unedles Metall, z. B. Zink, so erscheint an diesem kein Sauerstoff, sondern, indem dieser am Zink ausgeschieden wird, bewirkt er die Oxydation desselben. Enthielt das Wasser zugleich Schwefelsäure, so verbindet sich diese mit jenem Zersetzungsproducte zu schwefelsaurem Zinkoxyd. — Bei einer wässerigen Jodkaliumlösung erscheint Jod an der positiven und Wasserstoff an der negativen Elektrode; das Kalium dagegen verbindet sich mit dem Sauerstoff des Wassers zu Kali. — Eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd in Wasser liefert bei seiner Zersetzung an der positiven Elektrode Sauerstoff, an der negativen metallisches Kupfer, während sich nachher in der Flüssigkeit freie Säure vorfindet. Hier kann man sich die resultirende Wirkung so vorstellen, dafs nämlich das Metalloxyd vom Strome zur negativen Elektrode geführt, dort aber durch den zugleich nascirenden Wasserstoff des Wassers reducirt wird, während der Sauerstoff und die Säure zur positiven Elektrode wandern, wo dann, wenn diese von Gold oder Platin ist, der Sauerstoff als Gas entweicht, die Säure aber in der Flüssigkeit zurückbleibt, wenn sie aber aus einem unedlen Metalle besteht, die schon oben angeführte Verbindung des Sauerstoffs und der Säure mit diesem Metalle eintritt.

Diese gesetzlichen Ausscheidungen der Bestandtheile elektrolysirter Körper wurden die Veranlassung zur Auf-

dung eines neuen Systems der Chemie, nämlich des enannten elektrochemischen Systems oder der ektrochemie. Davy, welcher hierin zuerst die wichsten Entdeckungen machte, kann als Begründer dieses stems betrachtet werden, welches später vorzüglich von rzelius vervollkommnet und weiter ausgebildet wurde. s die Grundursache jeder chemischen Verbindung bechtet man nach diesem Systeme die Anziehkraft der entgengesetzten Elektricitäten und nimmt an, jede chemische rbindung sei eine Zusammensetzung eines positiv und es negativ elektrischen Stoffes. Auf diese Annahme gezt, hat man auch versucht, sämmtliche einfache Stoffe r Elemente nach ihren Ausscheidungen an den Elektro- hydroelektrischer Ketten in eine solche Reihe zu ord-, wo jedes Element, mit einem ihm voranstehenden bunden, bei einer stattfindenden Elektrolysirung an der sitiven, das letztere aber an der negativen Elektrode geschieden wird, so dafs in dieser sogenannten elektroemischen Reihenfolge der Elemente das erste negativste, das letzte das positivste sein mufs. Nach nselben Principe wird in einem Salze dessen Säure als negative, die Basis aber als der positive Bestandtheil rachtet, weil bei Elektrolysirung desselben die Säure an positiven, die Base an der negativen Elektrode erscint, wonach auch die Säuren elektronegative, die en aber elektropositive Paare genannt werden.

Die von Berzelius zuletzt und zwar im Jahre 1835 aufgeellte ungefähre elektrochemische Reihenfolge der damals beannten 54 Elemente, ist folgende (s. Berzelius, Lehrb. Chem. 3. Aufl. V. S. 61). — Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, luor, Chlor, Brom, Jod, Selen, Phosphor, Arsenik, Chrom, anadin, Molybdän, Wolfram, Bor, Kohlenstoff, Antimon, Telr, Tantal, Titan, Kiesel, Wasserstoff, Gold, Osmium, Iridium, latin, Rhodium, Palladium, Quecksilber, Silber, Kupfer, Uran, Vismuth, Zinn, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Eisen, Zink, langan, Cer, Torium, Zirkonium, Aluminium, Yttrium, Beryl-

lium, Magnesium, Calcium, Strontium, Baryum, Lithium, Natrium, Kalium. Die Ordnungsfolge der Elemente in dieser Reihe kann aber, wie auch schon oben bemerkt, nur als ungefähr, nicht aber als völlig bestimmt betrachtet werden, da nämlich bei den wenigsten ihre Stellung durch directe Versuche ermittelt, bei den übrigen aber dieselbe blos aus ihrem chemischen Verhalten abgeleitet wurde. Die Metalle, welche in dieser Reihe dem Wasserstoffe voranstehen, sind die elektronegativen, die diesem Elemente folgenden die elektropositiven.

Nachdem nun die Haupterscheinungen, welche bei der elektrochemischen Zerlegung eines zusammengesetzten Körpers vorkommen können, in dem Vorhergehenden angeführt worden sind, mögen nun noch einige der vorzüglichsten Versuche als Beispiele folgen.

Erster Versuch. Zersetzung des Wassers. — Das Wasser war der Stoff, dessen Elektrolysirung man zuerst kennen lernte, und da es sich zeigte, dafs der Sauerstoff desselben stets an der + Elektrode oder am + Poldrahte, der Wasserstoff aber am — Poldrahte ausgeschieden wurde, so nannte man auch den + Pol den Sauerstoffpol, den — Pol den Wasserstoffpol.

Das reine Wasser ist aber in Folge seines geringen Leitvermögens nur durch den intensiven Strom einer aus einer hinlänglichen Anzahl von Gliedern bestehenden Kette zersetzbar. Durch einen schwächeren Strom tritt aber die Zersetzung ein, sobald man die Leitfähigkeit durch Vermischung mit Säuren erhöht, und noch mehr, wenn der sich ausscheidende Sauerstoff sich mit der + Elektrode chemisch verbinden kann.

Durch den schwachen Strom einer ganz kleinen einfachen Kette kann das Wasser auf folgende Weise zersetzt werden:

Man tauche einen amalgamirten Zinkstreif in ein Glas, worin sich mit etwas Schwefelsäure versetztes Wasser befindet. Es wird keine Einwirkung der Flüssigkeit auf das Metall wahrzunehmen sein. Dasselbe ist der Fall mit einem in die Flüssigkeit gebrachten Kupferstreifen. Sobald man aber die Kette aufserhalb der Flüssigkeit durch gegenseitige Berührung der Metalle oder indem man sie durch einen Draht verbindet, schliefst, so bemerkt man, dafs sich an dem Kupferstreif kleine Bläschen ansetzen, welche das an dem negativen Metalle sich ausscheidende Wasserstoffgas des zersetzten Wassers einschliefsen, während der Sauerstoff desselben an das Zink übergeht und dieses oxydirt.

Bestehen die Elektroden einer Säule aus Platin oder Gold, und taucht man sie in angesäuertes Wasser, so werden beide Bestandtheile desselben nach dem Gesetze der Elektrolysirung ausgeschieden, indem sich nämlich an der + Elektrode Sauerstoffgas, an der negativen Wasserstoffgas entwickelt. Beide getrennte Stoffe steigen als Gasblasen im Wasser empor und können dann mittels kleiner Recipienten, entweder gesondert oder vereint, als Knallgas gesammelt werden. — Ein zu diesem und auch noch zu anderen Zersetzungsversuchen vorzüglich geeigneter Apparat ist der von Mitscherlich angegebene, Fig. 331 dargestellte. *s* und *w* sind zwei ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll weite, 6—8 Zoll lange, oben zugeschmolzene graduirte Glasröhren, welche bei *p* eine Seitenröhre haben, durch die mittels eines Korks ein Platindraht als Polende in die Röhre reicht. Die Wirksamkeit dieser Elektroden wird wesentlich erhöht, wenn sie sich in eine kleine Bürste von feinem Platindraht endigen, und noch mehr, wenn man diese aufserdem noch mit Platinschwamm überzieht. Jene Glasröhren werden mit gesäuertem Wasser gefüllt, mit ihren offenen Enden unter dasselbe Wasser des Glasgefäfses *g* gebracht, die Platindrähte mit den Quecksilbergefäfsen oder Schraubenhülsen *a* und *b* verbunden, und so an die Stativsäule *vg* aufgehangen, dafs sie ganz dicht neben einander herabhängen. Wird nun der + Poldraht in das Quecksilbergefäfs *a*, der negative in das *b* geleitet, so ist die Kette geschlossen, die Gasentwickelung beginnt an beiden Platin-Elektroden *p p*, und in der Röhre *s* sammelt sich 1 Raumtheil Sauerstoffgas, während in derselben Zeit in der Röhre *w* 2 Raumtheile mit Wasserstoffgas angefüllt werden.

Zweiter Versuch. Zersetzung eines Alkali-Salzes. — Füllt man die Röhren des vorher beschriebenen Wasser-Zersetzungsapparates mit der Lösung irgend eines neutralen Alkali-Salzes, z. B. mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron, oder salpetersaurem Kali, welche durch ein vegetabilisches Pigment, wozu die Tinctur von dunkelblauen Stiefmütterchen, Veilchen oder Irisblättern am geeignetsten ist, blau gefärbt ist, so wird an der + Elektrode die Säure ausgeschieden und die Flüssigkeit roth gefärbt, an der — Elektrode aber erscheint das Alkali, welches eine grüne Färbung der Flüssigkeit hervorbringt. Verwechselt man die Zuleitung von den Polen, so dafs die in der roth gefärbten Flüssigkeit befindliche Elektrode die negative, die in der grünen die positive wird, so nehmen nach einiger Zeit beide Flüssigkeiten wieder die blaue Farbe an, und die vorher geröthete wird dann grün, die grün gewesene aber roth.

Dritter Versuch. Reguliniſche Ausscheidung eines Metalles aus der Auflösung eines Metall-

salzes. — Bei diesen Elektrolysirungen ist es insbesondere, wo sich die desoxydirende Wirkung des an der negativen Elektrode nascirenden Wasserstoffs bemerkbar macht, indem sich dieser mit dem Sauerstoff des gleichzeitig an dieser Elektrode erscheinenden Metalloxydes zu Wasser verbindet, wodurch dann das positive Metall auf dieser Elektrode regulinisch niedergeschlagen wird. Schon ganz schwache Ströme bewirken solche Zersetzungen, und überhaupt darf die Stromwirkung keinen hohen Grad von Energie besitzen, weil in einem solchen Falle die Reduction durch den Wasserstoff nicht so schnell erfolgen kann und ein Theil des Metalles blos als Oxyd ausgeschieden wird.

Um durch den Strom einer einfachen Kette dergleichen Metallniederschläge zu bewirken, kann man sich vortheilhaft des in der Fig. 330 dargestellten Apparates bedienen. *a* ist eine einige Zoll lange, ungefähr $\frac{1}{2}$ — 1 Zoll weite Glasröhre, welche unten mit Blase zugebunden und in ein weiteres Cylinderglas *b* mit Boden gestellt oder eingehangen wird. Die durch die Blase verschlossene Glasröhre dient zur Aufnahme der Metallsalzlösung, wozu man z. B. schwefelsaures Kupfer, essigsaures Blei, salzsaures Zinn oder salpetersaures Silber anwenden kann, das äufsere weitere Glas zur Aufnahme einer Lösung von Chlornatron oder verdünnter Schwefelsäure. Wird dann in die Metallsalzlösung der Draht p eines negativen Metalles, z. B. von Silber, Gold oder Platin, getaucht, in die äufsere Flüssigkeit aber ein amalgamirter Zinkstreif *z* gebracht, und werden beide Metalle leitend verbunden, so hat man dann eine geschlossene hydroelektrische Kette mit zwei erregenden Flüssigkeiten, in welcher beide von dem durch sie gehenden Strome zersetzt werden. Nach einiger Dauer der Wirkung erscheint an dem negativen Metalldrahte das reducirte Metall, welches sich in der Metallsalzlösung befindet, oft in krystallinischer Form, und diese Ausscheidung währt so lange fort, bis das ganze Quantum des in der Lösung vorhandenen Metalles an die negative Elektrode übergegangen ist.

Ein ähnliches Resultat erhält man auch, wenn man einen Zinkstreif oder Zinkstab mit Fliefspapier oder Leinwand umwickelt, ihn hierauf in verdünnte Schwefelsäure taucht, dann diesen Elektromotor in ein Glas bringt, worin sich schwefelsaure Kupferlösung befindet, und nun in diese ein mit dem Zink verbundenes Stück eines negativen Metalles, z. B. eine Kupfer-, Silber- oder Goldmünze, taucht. Kurze Zeit hiernach wird sich auf dieser ein regulinischer Kupferüberzug erzeugen.

Auf ganz analogen Wirkungen beruhen auch die sogenannten chemischen Metallvegetationen, welche unter dem Namen des Bleibaumes, Zinnbaumes und Silber- oder Dianen-

baumes bekannt sind, indem durch ein in diese Metalllösungen gebrachtes Stück Zink, ursprünglich durch Wirkung der chemischen Verwandtschaft die ersten Metallatome am Zink ausgeschieden werden, die dann im Contact mit diesem + Elektromotor eine einfache Volta'sche Kette bilden, von deren Wirkung nachher die weitere Ausscheidung des Metalles bedingt ist. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 660.)

Bei diesen angeführten Beispielen sind es die Elektromotoren selbst, welche als Elektroden fungiren, dieselben Resultate erhält man aber auch von einer einfachen oder zusammengesetzten Kette, wenn man ihre Poldrähte in ein Glas leitet, worin sich die zu elektrolysirende Metalllösung befindet, wo dann an der — Elektrode kein Wasserstoff, sondern stets das Metall regulinisch erscheint.

Vierter Versuch. Reductionen der Alkali-Metalle. — Da die Alkalien Verbindungen der stärksten chemischen Verwandtschaftskräfte sind, so erfordern sie auch zu ihren Zersetzungen die stärksten Ströme. Davy ist diese wichtige Zerlegung, nach welcher die Alkalien aus der Reihe der Elemente verschwanden, zuerst (1807) gelungen, und nach ihm haben auch mehre andere Physiker diese Reductionen zu Stande gebracht. Bei einer hinlänglich kräftigen Batterie, wo durch die Zahl der Glieder hauptsächlich die nöthige Stromstärke erlangt wird, ist folgendes Verfahren anzuwenden. Man legt ein dünnes Stück schwach befeuchtetes Aetzkali auf eine Silber- oder Platinscheibe, die mit dem + Pole der Säule in Verbindung steht, und berührt die Oberfläche des Alkalis mit dem Silber- oder Platindraht des — Poles. Das Alkali fängt dann an der Berührungsstelle an zu schmelzen, und in Kurzem erscheinen um den Draht herum kleine metallisch glänzende Kügelchen von reducirtem Kalium, die man aber, um ihre bald eintretende Oxydation zu verhindern, unter Steinöl bringen muſs.

Aber auch schon mit sehr mäſsig starken Apparaten (nach Versuchen von Pfaff und Herschel mit Säulen von nicht mehr als 10 Plattenpaaren) läſst sich die Reduction bewerkstelligen, sobald man dabei die Verwandtschaft des Quecksilbers zu Hilfe nimmt. Es kann der Versuch so angestellt werden, daſs man in ein Stück befeuchtetes Aetzkali eine Höhlung macht die möglichst tief und mit Quecksilber angefüllt ist, dasselbe auf eine Platinplatte legt, die mit dem + Pole der Säule verbunden ist, und hierauf mit dem — Poldrahte, der entweder von Eisen oder Platin sein muſs, das Quecksilber berührt, worauf dieses nach einiger Zeit in ein festes Amalgam übergeht. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII, S. 48.) — Nach Berzelius Angabe soll man das in einem Porzellanschälchen befind-

liche Quecksilber mit einer concentrirten Lauge von kaustischem Kali, worin sich noch etwas ungelöstes Kali befindet, übergiefsen. In das Quecksilber wird dann der negative, in die Kalilauge der positive Platin-Poldraht geleitet. Das Quecksilber beginnt hierauf sich allmälig zu verdicken, und man entdeckt kleine sich bildende Metallkrystalle von Kaliumamalgam, welche, wie es scheint, kubische Gestalt annehmen. (S. Berzelius, Lehrb. d. Chem. 3. Aufl. II. S. 283.)

Das Natron wird eben so leicht wie das Kali durch Hilfe des Quecksilbers reducirt, wenn man dazu dessen Salze, namentlich schwefelsaures Natron, oder Chlornatrium, anwendet; auch soll die Reduction der alkalischen Erden unter Mitwirkung von Quecksilber, welches sich mit ihrem metallischen Radicale zu Amalgamen verbindet, bei Anwendung mäfsig starker Batterieen gelingen. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. S. 53.)

Hierher gehört auch noch die Darstellung des Ammonium-Amalgams. Um diesen merkwürdigen Körper zu erhalten, giebt Berzelius folgendes Verfahren an. Man kann dabei den Versuch ganz so, wie bei der Reduction des Kalis anstellen, nur mit dem Unterschied, dafs auf das Quecksilber eine concentrirte Salmiaklösung gegossen wird. Das Quecksilber fängt an aufzuschwellen, wird allmälig dick wie Butter, erhält eine silberweifse Farbe und nimmt ein 5- bis 6mal gröfseres Volumen an. — In gröfserer Menge und trockener Form läfst sich dieses Amalgam darstellen, wenn man in einem Stücke Salmiak eine Vertiefung ausschneidet, diese mit etwas Wasser anfeuchtet, einen Tropfen Quecksilber hineinbringt und ihn durch einen Platindraht mit dem — Pole der Säule verbindet, während ein solcher vom + Pole in den angefeuchteten Salmiak hineingeführt und dem Quecksilber so nahe als möglich gebracht wird, ohne dieses jedoch zu berühren. Die Quecksilberkugel schwillt dann immer mehr und mehr auf, so dafs sie endlich weit über die Grube herauswächst. — Am schönsten, schnellsten und reichlichsten entsteht dieser Körper, sobald man bei dem zuletzt beschriebenen Verfahren das Quecksilber, welches man bei der Reduction zu Hilfe nimmt, mit einer ganz geringen Menge Kalium oder Natrium verbindet und dann auf die angegebene Weise die Kette schliefst. (S. Berzelius Lehrb. d. Chem. 3. Aufl. II. S. 326.)

Fünfter Versuch. Durchführung der zersetzten Bestandtheile durch Halbleiter und durch chemisch mit jenen verwandte Flüssigkeiten. — Zu den merkwürdigsten Erscheinungen der Elektrolysirung gehört das Durchführen der Stoffe durch poröse Halbleiter und durch solche Flüssigkeiten, mit welchen sie sich eigentlich chemisch verbinden müfsten, zu den entsprechenden Elektroden der Batterie.

Was die Durchführung durch poröse Halbleiter, wie thierische Häute, Blase, porösen Thon und dergleichen, betrifft, so dienen schon die Metallreductionen des dritten Versuchs dazu als Belege, wo nämlich die Blase der Körper ist, durch den hindurch die Strömung und Elektrolysirung vor sich geht. Sichtbar kann dieser Erfolg dadurch gemacht werden, wenn man die Glasröhre mit schwefelsaurer Natronlösung, das äufsere Glas aber mit Wasser füllt, wo dann, wenn beide Flüssigkeiten durch die schon angeführte Planzentinctur blau gefärbt sind, die, in welcher sich das negative Metall befindet, grün, und die, worin das positive steht, roth wird. Dasselbe findet auch bei den Ketten der neueren Construction mit zwei Flüssigkeiten statt, welche durch die poröse Thonzelle von einander getrennt sind.

Aber auch durch verschiedene Flüssigkeiten, die mit einander in leitender Verbindung stehen, geht die Wanderung der Zerlegungsproducte vor sich, ohne dafs diese anderswo als an den entsprechenden Elektroden frei auftreten, wie sich auf folgende Art nachweisen läfst.

Man füllt die zu zersetzenden Flüssigkeiten in zwei verschiedene kleine Glasgefäfse, die unter sich durch Asbest oder Baumwollenfäden verbunden sind. Eben so kann auch noch zwischen diesen beiden Gefäfsen ein mittles angebracht werden, welches ebenfalls eine zersetzbare Flüssigkeit enthält; dieses wird dann mit den beiden anderen Gläsern auf die schon angeführte Art verbunden, während in die äufseren die Poldrähte geleitet werden, wo man nachher folgende Resultate erhält.

Wie auch die Flüssigkeiten in den Gefäfsen vertheilt sein mögen, immer wird sich nach einiger Zeit ihr elektronegativer Bestandtheil in dem Glase angesammelt haben, worin sich die positive, und ihr elektropositiver in dem, worin sich die negative Elektrode befindet. Taucht z. B. der positive Draht in eine Lösung von schwefelsaurem Natron, der negative in reines Wasser, so sammelt sich an jenem die Säure, an diesem die Salzbasis, welche mithin in das andere Gefäfs übergeführt worden ist. Leicht läfst sich auch hier dieser Stoffwandel dadurch sichtbar machen, dafs man die Flüssigkeiten beider Gefäfse durch die dazu vorzüglich geeignete Stiefmütterchen-Tinctur etwas blau färbt.

Die durch das mittle Gefäfs hindurch gehenden sauren oder alkalischen Bestandtheile wirken unterwegs nicht auf eine Flüssigkeit ein, die sich in jenem Gefäfse befindet.

Die Ueberführung der Stoffe findet auch dann noch statt, wenn sie durch eine Flüssigkeit wandern müssen, mit der sie, aufser der Volta'schen Kette, eine auflösliche Verbindung geben würden, nicht aber, wenn diese Verbindung unlöslich sein würde. (Man sehe hierüber Marbach, phys. Lex. II

ien ist und dessen Zersetzungsproducte leicht und genau messen sind, kann, wie der Galvanometer als Mafs für Quantität der strömenden Elektricität überhaupt, und nn man dabei zugleich auf die Zeit Rücksicht nimmt, Messung ihrer Intensität benutzt werden. Apparate, iche zu einer solchen Messung eingerichtet sind, hat Faday zuerst als Strom-Elektricitätsmesser vorgeschlagen sie Voltameter genannt. Das hierzu geeignetste ktrolyt ist das Wasser, und jede Vorrichtung, worin n dasselbe durch einen elektrischen Strom zersetzen und daraus entstandene Gas messen läfst, kann als Voltater benutzt werden.

Die verschiedenen von Faraday hierzu vorgeschlagenen ormen findet man in der 7ten Reihe seiner Experimentalntersuchungen (Poggendorff's Annal. XXXIII. S. 318) beschrieben und abgebildet. Einen zu diesem Zwecke ganz braucharen und einfachen Apparat stellt Fig. 332 dar. *V* ist ein ylinderglas mit gut aufgeschliffenem Glasdeckel (es kann statt es letzteren auch ein Metalldeckel angewendet werden, nur ist ann für Isolirung der durchzuführenden Drähte *a* und *b* zu orgen), 2 bis 4 Unzen Wasser fassend, in welchem sich das u zersetzende Wasser befindet. *p*, *p* sind die beiden Elektroen, wozu zwei einander parallele und möglichst nahe Platinder passive Eisenplatten dienen. Die Drähte, an welche diese latten gelöthet sind, gehen luftdicht durch den durchbohrten eckel und werden aufserhalb desselben mit zwei Schraubenülsen verbunden, in welche dann die Poldrähte der Kette geütet werden. *g* ist das ebenfalls in dem Deckel luftdicht einesetzte Gasleitungsrohr, welches unter eine, zur Aufnahme es sich entwickelnden Knallgases bestimmte graduirte Glasöhre geführt wird. Für Platin-Elektroden ist es nach Poggenorff's Untersuchungen am vortheilhaftesten, das Wasser mit chwefelsäure, für Eisen-Elektroden mit dem zehnten Theile etzkali zu versetzen. — Andere vollkommenere Voltameter on Bunsen und Poggendorff sind beschrieben in Poggenorff's Annal. LV. S. 273 u. 277.

Das andere gleichwichtige Gesetz der Elektrolysirung t, dafs chemisch äquivalente Massen verschiener Körper zu ihrer Zersetzung gleiche

Stromquantitäten erfordern, oder dafs die Quantitäten der Zersetzungs-Producte, welche ein und derselbe Strom aus verschiedenen Elektrolyten ausscheidet, unter einander genau in demselben Verhältnisse stehen, in welchem sie sich chemisch verbinden. Es wird diefs das Gesetz der bestimmten elektrolytischen Action genannt, wobei Faraday die Massen der Körper, welche sich mit gleichen und bestimmten Mengen Elektricität verbinden, elektrochemische Aequivalente nennt. — Aus diesem Gesetze läfst sich auch noch die wichtige Schlufsfolge ziehen, dafs zufolge der Proportionalität aller durch dieselbe Elektricitätsmenge bewirkten Zersetzungen, nach den Atom-Gewichten berechnet, die Atome sämmtlicher Körperstoffe eine gleiche Menge von Elektricität aufnehmen oder gleichsam gebunden enthalten müssen (Pfaff's Rev. d. Galv. Volt. S. 121).

Aus vielfachen Versuchen, welche Faraday darüber anstellte, und die auch Pfaff durch Wiederholung und Abänderung bestätigt fand (s. die angeführte Schrift S. 84), ergab sich nämlich, dafs für jedes Atom Wasser, welches durch einen hydroelektrischen Strom in einem Voltameter zerlegt wird, in anderen Zersetzungszellen auch ein Atom jedes anderen Paares oder Doppelpaares von demselben Strome zersetzt wird. So fand denn auch Faraday bei'm Durchleiten eines Stromes durch einen Voltameter, dessen positive Elektrode eine amalgamirte Zinkplatte und dessen negative eine Platinplatte war, dafs, während sich an letzterer 1 Gewichttheil Wasserstoff entwickelte, von ersterer 32,3 Gewichttheile Zink aufgelöst wurden. Nun aber verhält sich das Aequivalent des Wasserstoffs und des Zinks zu einander wie 12,48 zu 403,23 oder wie 1 zu 32,3. Dieselbe Wirkung erzeugt aber der Strom auf seiner Bahn, die er durchläuft, in jeder ähnlich combinirten Zersetzungszelle, z. B. in den einzelnen Ketten einer aus amalgamirtem Zink und Kupfer combinirten Volta'schen Säule, so dafs für jedes Aequivalent Wasserstoff, welches frei wird, in jeder einzelnen Kette einer hydroelektrischen Batterie auch ein Aequivalent Zink aufgelöst wird, so dafs das Consumo dieses Metalls der Elektrolysirung stets äquivalent ist.

§. 523.

Die chemische Zersetzungskraft des elektrischen Stromes zeigt sich, wie auch bereits erwähnt wurde, auf ganz gleiche Weise in den einzelnen Gliedern jeder Volta'schen Kette thätig, d. h. in demselben Maſse, wie durch ihn eine im Schlieſsungsbogen eingeschaltete elektrolysirbare Flüssigkeit zersetzt wird, erfolgt dieſs auch mit der zwischen den Elektromotoren jeder einzelnen Kette befindlichen Flüssigkeit. Diese chemische Action übt einen wesentlichen Einfluſs auf den Stromeffect hydroelektrischer Ketten, und zwar den stärksten auf die bisher allgemein im Gebrauch gewesenen aus, bei welchen als erregende Flüssigkeit für die Metalle eine verdünnte Säure oder Salzlösung angewendet wird. Solche Ketten besitzen zufolge ihrer Combination an sich eine ursprünglich geringe Stromkraft, weil, da dieselbe Flüssigkeit das elektropositive und negative Metall zugleich berührt, die elektromotorische Kraft beider Metalle auch in gleichem Sinne, obgleich in ungleicher Stärke, abgeändert wird, so daſs ihr Einfluſs auf die Erzeugung des Stromes nur der Differenz der elektromotorischen Erregung in beiden Metallen entsprechen kann (vergl §. 510). Eben so tragen auch die an den Metallen sich ausscheidenden Bestandtheile der Flüssigkeit dazu bei, die elektromotorische Differenz derselben noch mehr zu vermindern. Der Wasserstoff, die Basen oder die Metalloxyde sammeln sich nämlich am negativen, der Sauerstoff, das Chlor und die Säuren aber am positiven Metalle; dadurch wird ersteres von positiven Stoffen umhüllt oder polarisirt und weniger negativ, letzteres durch die Oxydation weniger positiv, und in dem Maſse, wie diese Aenderungen in den elektromotorischen Flüssigkeiten und in den durch sie erregten Metallen fortschreiten, wird die Spannungs-Differenz geringer

werden; am meisten aber soll nach Fechner's Meinung das mit der Zersetzung beständig abnehmende Leitvermögen der Flüssigkeiten zur Schwächung des Stromes beitragen.

Von geringerem Einflusse sind dagegen diese Wirkungen bei den neueren Ketten, wie bei den Daniell'schen, Grove'schen und Bunsen'schen, wo jeder Elektromotor mit einer Flüssigkeit in Berührung steht, die ihn gerade entgegengesetzt anregt, als diefs bei dem anderen Elektromotor durch die ihn berührende Flüssigkeit geschieht (vergl. §. 510). Hierdurch wird schon der ursprüngliche Spannungsunterschied weit gröfser als bei den Ketten, die nur durch eine Flüssigkeit erregt werden; dann wirken aber auch meist die Zersetzungsproducte nur wenig oder gar nicht schwächend auf die Spannungs-Differenz der Elektromotoren ein, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt. Wenn man bei diesen Ketten als erregende Flüssigkeit für das amalgamirte Zink eine nur wenig verdünnte Schwefelsäure anwendet, so wird das von dem sich ausscheidenden Sauerstoffe entstehende Zinkoxyd sofort von der vorhandenen Schwefelsäure wieder aufgelöst und die Oberfläche des Zinks in unverändertem Zustande erhalten, während sich allerdings nach und nach die elektromotorische Flüssigkeit in schwefelsaure Zinkauflösung verwandelt, die aber, wie Pfaff und Poggendorff gefunden haben (s. Poggendorff's Annal. LIII. S. 306, 345), fast oder eben so stark erregend wirkt als die Schwefelsäure, mithin das elektromotorische Vermögen des Zinks gar nicht oder nur sehr wenig schwächt. Bei den Daniell'schen Ketten, wo schwefelsaure Kupferlösung die erregende Flüssigkeit für das Kupfer ist, tritt eine ähnliche vortheilhafte Zersetzungswirkung ein, indem nämlich der am Kupfer nascirende positive Wasserstoff das mit ihm sich gleichzeitig ausscheidende Kupferoxyd reducirt, welches sich als metallisches

Kupfer auf der negativen Kupferfläche ablagert, wodurch diese gleichfalls ihre elektrische Spannung unverändert behält, so lange dafür gesorgt ist, dafs die Kupferlösung immer hinlänglich concentrirt bleibt. Bei den Grove'schen und Bunsen'schen Ketten, wo für das Platin und die Kohle eine concentrirte Salpetersäure als erregende Flüssigkeit dient, werden diese Elektromotoren durch den sich an ihnen ausscheidenden Wasserstoff nicht polarisirt und geschwächt, weil er sich im Augenblicke seines Entstehens mit einem Aequivalent Sauerstoff der Salpetersäure zu Wasser verbindet, wodurch ein dem entsprechender Antheil salpetrige Säure als Gas entweicht, so dafs dadurch das Platin (und dem analog wohl auch die Kohle), wie Schönbein sich ausdrückt, depolarisirt und in seiner elektromotorischen Function relativ erhöht wird (s. Poggendorff's Annal. LVII. S. 51). Hieraus entspringt nun aber der Hauptvorzug, den diese neueren Ketten vor den älteren besitzen, nämlich der, dafs sich ihr Stromeffect gar nicht oder doch nur sehr langsam schwächt, weshalb sie auch mit Recht die Benennung constante Batterieen erhalten haben.

§. 524.

Die durch hydroelektrische Ströme erzeugte Zersetzung und Reduction aufgelöster Metalle hat in neuerer Zeit zu einigen wichtigen Erfindungen geführt, die auch bereits eine mehrseitige Anwendung in der Technik und Industrie gefunden haben. Es sind diefs die Galvanoplastik, die Galvanographik und die galvanische Metallplattirung.

Die Galvanoplastik wurde fast gleichzeitig (1839) von Jacobi in Petersburg und von Spencer in Liverpool entdeckt. Durch sie lassen sich nämlich von beliebigen

Gegenständen Abformungen oder Abdrücke in Kupfer erzeugen. Das Mittel dazu ergab sich aus der erlangten Erfahrung, dafs in einer nach dem Daniell'schen Princip combinirten Kette sich auf dem negativen Metalle, welches hier der abzuformende Gegenstand sein mufs, wenn dieses in einer schwefelsauren Kupferlösung steht oder als negativer Elektromotor fungirt, durch die schon erklärte secundäre Wirkung bei der Elektrolysirung dieser Flüssigkeit das Kupfer regulinisch niederschlägt. Die hierbei allmälig entstehenden Kupfermolecule vereinigen sich zu einer compacten Masse von gleichförmiger Dichtheit, welche den negativ elektrischen Gegenstand so bedeckt, dafs sie nach Erlangung der hinlänglichen Dicke von diesem unversehrt abgenommen werden kann, und worin dann jede Erhöhung oder Vertiefung, die sich auf der Oberfläche des Objects befand, bis auf die feinsten Lineamente abgedrückt erscheint. Anstatt den Gegenstand selbst als Elektromotor zu benutzen, kann man ihn auch zur negativen Elektrode einer Zersetzungszelle machen, welche diese Kupferlösung enthält, wo dann bei einem durch sie geleiteten Strome nach den schon angeführten Gesetzen der Elektrolysirung auf gleiche Weise die Ablagerung des Kupfers eintritt.

Einen einfachen galvanoplastischen Apparat stellt Fig. 333 dar. *A* ist ein Cylinderglas, in welches der abzuformende Gegenstand kommt und dessen Weite sich daher nach der Gröfse desselben richten mufs. *B* ist ein engerer Glascylinder, welcher mittels eines äufserlich befestigten Metallringes *d e*, an dem sich drei horizontale Metallstreifen befinden, in jenes weitere Glas eingehangen werden kann. Die untere Oeffnung dieses Cylinders ist bei *mn* durch eine darüber gebundene Blase oder dünne Pergamenthaut verschlossen. Der über die obere Oeffnung aufgelegte Kupfer- oder Messingstreif *bc* erhält 2, am befsten nach einer Seite offene Schraubenhülsen *b*, *a*, in welchen die Drähte befestigt werden, an deren unteren Enden sich die Elektromotoren befinden. Im inneren Cylinder wird nämlich als positives Metall eine amalgamirte Zinkplatte *Z* auf ähnliche Weise wie bei den Wasserstoffgas-Feuerzeugen eingehängt, im äufseren

aber kommt auf den in eine horizontale Spirale *k* sich endigenden Leitungsdraht *bk* der abzuformende Körper *k* als negativer Elektromotor zu liegen. Das äufsere Glas *A* dient zur Aufnahme einer concentrirten schwefelsauren Kupferlösung, deren Sättigungszustand man dadurch unterhält, dafs man in Leinwand gebundene etwas zerstofsene schwefelsaure Kupferkrystalle in dieselbe hängt, oder dergleichen auf den Boden des Gefäfses legt. Als erregende Flüssigkeit für das Zink im inneren Cylinder *B* dient ein schwach schwefelsaures Wasser oder eine Kochsalzlösung, wobei zugleich darauf zu sehen ist, dafs die Flüssigkeiten in beiden Cylindern gleich hoch zu stehen kommen. Eben so gut kann aber auch die ganze Anordnung umgekehrt erfolgen, nämlich das Zink mit seiner erregenden Flüssigkeit kann sich im äufseren und das Modell mit der Kupferlösung im inneren Cylinder befinden. — Aus der Beschreibung dieses Apparates ergiebt sich, dafs derselbe eine einfache Kette mit zwei erregenden Flüssigkeiten ist, in welcher der mit Kupfer zu überziehende Körper den negativen Elektromotor selbst abgiebt. Die Schliefsung der Kette bewirkt der Messing- oder Kupferstreif *bc*, und der Strom in ihr geht vom Zink *Z* zum Modell *k* über. — Will man die Abformung in einer Zersetzungszelle hervorbringen, so mufs sich in dieser eine etwas weniges angesäuerte concentrirte schwefelsaure Kupferlösung befinden, in welche dann das abzuformende Object als negative Elektrode, als positive aber eine ungefähr eben so grofse Kupferplatte, beide einander parallel gegenüber zu stehen kommen. Den durch sie zu führenden Strom erhält man von einer constanten Batterie von 2 bis 6 Gliedern, indem man das Modell mit dem negativen, die Kupferplatte mit dem positiven Pole der Batterie verbindet. Es wird hierbei die als positive Elektrode dienende Kupferplatte von der an ihr frei werdenden Schwefelsäure in dem Mafse aufgelöst, als sich das Kupfer auf der negativen Elektrode, dem abzuformenden Gegenstande, präcipirt, wodurch zugleich die Kupferlösung immer in dem erforderlichen Concentrationszustande erhalten wird.

Um gute galvanoplastische Abbildungen zu erhalten, ist hauptsächlich auf Folgendes zu achten. Die Oberflächen der abzuformenden Gegenstände müssen die Elektricität gut leiten und dürfen aus keinem Metalle oder Metallüberzuge bestehen, welche von der schwefelsauren Kupferlösung an sich schon chemisch angegriffen oder aufgelöst werden, weshalb sich dazu weder Eisen noch Stahl eignet. Es ist aber nicht gerade erforderlich, dafs das Modell von Metall ist, es kann auch aus Gyps, Stearin, Wachs, Holz oder irgend einem ähnlichen nicht metallischen Stoffe bestehen, nur mufs dann die abzuformende Fläche einen leitenden oder metallischen Ueberzug erhal-

wozu eine Abreibung mit feinem Graphitpulver oder eine ganz dünne Schicht von ächtem Silber- oder Broncepulver ausreicht. Bei Abformungen von Münzen oder anderen metallenen Gegenständen müssen die Theile der Oberfläche, auf welchen keine Kupferablagerung stattfinden soll, mit einer Auflösung von Wachs in Terpentinöl überzogen werden. Uebrigens versteht es sich von selbst, dafs in jedem galvanoplastischen Gebilde die Erhabenheiten des Originals vertieft und die Vertiefungen erhöht erscheinen. Um daher dem Originale völlig getreue Nachbildungen zu erhalten, mufs man die erste Abformung als Matrice benutzen, auf der dann durch Einlegen in den galvanoplastischen Apparat die erwünschten Kupferablagerungen entstehen. Auf diese Weise hat man schon gestochene Kupferplatten vervielfältigt, welche eben so gut wie die Originalplatte zum Drucke benutzt werden konnten (Poggendorff's Annal. LIV. S. 300). Eben so hat auch v. Kobell von auf Kupfer- oder Silberplatten ausgeführten Zeichnungen galvanoplastische Abbildungen erhalten, von denen die Abdrücke wie eine Zeichnung in Tuschmanier ausfielen. (Journ. f. prakt. Chem. XX. S. 151.)

Der elektrische Strom, durch den die Ausscheidung des Kupfers bewirkt wird, darf aber nicht zu stark sein, weil sonst der sich ablagernde Kupferüberzug nicht hinlänglich dicht und zähe ausfällt; vorzüglich aber mufs auch der Strom in gleichmäfsiger Stärke ausdauernd fortwirken, weshalb sich dazu nur constante Ketten und vorzüglich die Daniell'schen eignen, bei welchen eine in die Kette eingeschaltete Galvanometerbussole (§. 517) zur Controle dient, die auch an der einfachen Kette, wie sie die Fig. 333 darstellt, durch eine auf dem Metallstreifen *bc* angebrachte gewöhnliche Magnetnadel *ns* vertreten werden kann. Die Constanz der Stromstärke bei diesen Ketten hängt aber hauptsächlich davon ab, dafs die in der Kette wirksame Kupferlösung gesättigt bleibt, was sich durch das schon bei der Beschreibung des Apparates angegebene Mittel, oder auf die bereits §. 510. S. 860 angeführte Weise erreichen läfst.

Ein überraschendes Beispiel von ausnehmend zarter und getreuer Abbildung, welches zugleich auf die aufserordentliche Kleinheit der Kupfermolecule schliefsen läfst, erhält man bei der galvanoplastischen Nachbildung eines Barton'schen Silberknopfs (§. 332), indem ein solcher Abdruck eben so schön die farbigen Interferenzerscheinungen wie das Original zeigt.

Schriften, in welchen man die verschiedenartige technische Anwendung der Galvanoplastik, so wie überhaupt das Praktische dieser Kunst beschrieben findet, sind unter anderen: die Galvanoplastik von Jacobi, Petersburg 1840, die Galvanoplastik von Fardely, Mannh. 1842, und die Galvanoplastik von

Walker bearb. v. Dr. Schmidt 1843, so wie auch mehre interessante Abhandlungen hierüber im polytechn. Centralblatt u. Dingler's polytech. Journ. Jahrg. 1840—1843. enthalten sind.

Die Galvanographik, welche von Osann zuerst aufgefunden und empfohlen wurde, beruht gerade auf der entgegengesetzten Wirkung des elektrischen Stromes, welche zur Galvanoplastik angewendet wurde. Bei ihr wird nämlich die auflösende Kraft des Stromes dazu benutzt, um auf einer in einer Zersetzungszelle als positive Elektrode dienende Kupferplatte durch Einwirkung der an ihr sich ausscheidenden Schwefelsäure beliebige Figuren und Zeichnungen einzuätzen, wobei die Stellen der Platte, welche die Säure nicht angreifen soll, wie bei dem bekannten Aetzen der Kupferplatten, mit einem Aetzgrunde bedeckt sein müssen (s. Journ. f. prakt. Chem. XXIII. S. 316, polytech. Centrbl. 1842 S. 254, 897, 951).

Die galvanische Metallplattirung ist eigentlich nur eine Modification und Erweiterung der Galvanoplastik, indem man bei ihr ebenfalls durch Vermittelung hydroelektrischer Ströme metallische Gegenstände mit einem festhaftenden Ueberzuge von Gold, Platin, Silber, Kupfer, Zink etc., und zwar von beliebiger Stärke bedecken kann. Das dabei in Anwendung zu bringende Verfahren lernte uns zuerst de la Rive (Poggendorff's Annal. L. S. 94) und mit einigen Abänderungen nachher Dr. Böttger (s. dessen Beitr. z. Phys. u. Chem. Hft. II. S. 100) kennen, und dasselbe wird in der neuesten Zeit auch vom Dr. Elsner empfohlen, (Erdmann, Marchand, Journ. f. prakt. Chem. XXVIII. S. 276.) Im Wesentlichen beruht dasselbe darauf, dafs man eben so, wie bei den galvanoplastischen Ablagerungen, den mit einem der genannten Metalle zu überziehenden Gegenstand in einer solchen einfachen Kette, wie sie der in Fig. 333 dargestellte Apparat zeigt, als negative [illegible] anwendet, welcher sich dabei in einer, d

enthaltenden Lösung befindet, die elektromotorisch erregend auf ihn einwirkt und dann während der daraus entspringenden Strömung in der Art elektrolysirt wird, dafs sich das in ihr befindliche Metall regulinisch auf dem Körper ablagert und fest mit seiner Oberfläche verbindet. Die im vorigen Jahre von Elkington und Ruolz vorgeschlagene und seitdem schon ziemlich allgemein in Anwendung gekommene Methode unterscheidet sich von der vorigen darin, dafs die Metallüberziehung in einer besonderen Zersetzungszelle vor sich geht. Die Metallsolution kommt nämlich in ein Gefäfs von Glas oder Porzellan, welches der Gröfse des zu vergoldenden oder zu versilbernden u. s. w. Gegenstandes angemessen ist. Diesen in der Flüssigkeit ganz eintauchenden Körper verbindet man dann mit dem — Pole einer constanten Batterie von 2 bis 6 Gliedern, wodurch er zur negativen Elektrode wird, während sich ihm gegenüber in der Flüssigkeit als positive Elektrode eine Platte von entsprechender Gröfse und demselben Metalle befindet, welches in der Flüssigkeit aufgelöst ist. Durch dasselbe Verfahren lassen sich auch vergoldete und versilberte u. s. w. Gegenstände wieder entgolden oder entsilbern, d. h. das Gold oder Silber, womit ihre Oberfläche bedeckt ist, wird von dieser aufgelöst, sobald man sie zur positiven, ein gleichartiges Metallblech aber zur negativen Elektrode anwendet. Gröfstentheils sind die Auflösungen von Cyanmetallen hierzu am brauchbarsten, die man sich, wie Dr. Hänle kürzlich bekannt gemacht hat, am einfachsten auf die Weise erzeugen kann, dafs man eine wässerige Lösung von Cyankalium (1 Theil Cyankalium in 10 Theilen Wasser) in ein Glasgefäfs gieſst, worin man das möglichst dünn gewalzte Metall als positive Elektrode einhängt, und in der Entfernung von einigen Zollen davon als negative Elektrode einen Kupferdraht nur etwa $\frac{1}{2}$ Zoll tief eintauchen

läfst. Der durch die Cyankaliumlösung gehende Strom bewirkt dann, wenn diese auf einer Temperatur von ungefähr + 30° R. erhalten wird, nach Verlauf von 24 Stunden die entsprechende Metalllösung, deren hinreichender Concentrationsgrad dann eingetreten ist, wenn sich das Ende des als negative Elektrode dienenden Kupferdrahtes mit dem aufgelösten Metalle zu überziehen anfängt.

In technischer Beziehung dürfte die Verzinkung des Eisens, Stahls und Gufseisens besonders wichtig werden, und es steht zu erwarten, dafs man auch in der Militär-Technik davon mit Nutzen Anwendungen machen wird, um sowohl Waffen als auch Eisenmunition vor den zerstörenden Wirkungen des Rostes zu schützen.

Wer sich mit dem bei Volta'schen Metallüberziehungen zu befolgenden praktischen Verfahren näher bekannt zu machen wünscht, findet darüber Auskunft in Poggendorff's Annal. LV. S. 160, Dingler's polyt. Journ. Jahrg. 1842 u. 1843, polytech. Centrlbl. 1842 S. 299, 977, 993, Erdmann, Marchand, Journ. f. prakt. Chem. XXVIII. S. 265, Dr. Petzholdt, d. galv. Vergold. etc. 1842, Dr. Hänle, die hydroelektr. Metallüberziehung 1843, Dr. Elsner, d. galv. Vergoldung u. Versilberung u. s. w. 1843, und C. Walker, d. Galvanoplastik 1843.

Auf demselben Principe beruht auch das von Becquerel angewendete Verfahren, mehre Körper in Krystallform darzustellen, was aufserdem durch kein anderes Mittel zu erlangen ist. Hierzu mufs man einen ganz schwachen Strom durch dünne Drähte in die zu zersetzende Flüssigkeit leiten, an welcher sich dann, allerdings erst nach längerer Zeit, die frei werdenden kleinsten Theile in schönen Krystallen ansetzen. Besonders eignen sich dazu die Fig. 330 dargestellten einfachen Ketten (s. Baumgartner's Zeitschr. f. Phys. u. Math. VI. S. 358, VIII. S. 96).

Eine hierher gehörige verwandte Erscheinung sind noch die nach ihrem Entdecker benannten Nobili'schen oder elektro-chemischen Figuren. Sie entstehen schon bei Anwendung eines schwachen Stromes auf polirten Platin-, Stahl- und Silberplatten, wei [illegible] se als die eine Elektrode in eine elel [illegible] che [illegible] rt, wozu sich insbesondere ein

Bleioxyd, essig- oder schwefelsaurem Kupferoxyd, essigsaurem Manganoxydul und Manganchlorür eigneu, während die andere Elektrode, ein in eine feine Spitze auslaufender Platindraht, jener Platte bis auf 1 oder 2 Linien genähert wird. Es legen sich dann die Zersetzungs-Producte auf der Metallplatte, dem Pole entsprechend, mit dem diese in Verbindung steht, meist in der Form concentrischer Kreise, deren Mittelpunct der Spitze der anderen Elektrode gerade gegenüber steht, von mannigfacher Färbung, welche den Newton'schen Farbenringen (§. 332) sehr ähneln, so fest ab, dafs man sie nur durch Abwaschen mit Salpetersäure wieder hinwegbringen kann. Aufserdem hat sich noch gezeigt, dafs bei manchen Flüssigkeiten die Figuren schöner und leichter entstehen, wenn man die Platte als + Elektrode (dieſs ist z. B. bei'm essigsauren Blei, essigsauren Manganoxydul und Manganchlorür der Fall), bei anderen (z. B. bei'm essigsauren Kupfer), wenn man sie als — Elektrode anwendet. Verwechselt man, nachdem sich eine Figur gebildet hat, die Pole, so verschwindet jene allmälig, und es entsteht nachher die entgegengesetzt elektrische.

Als Beispiele hierzu mögen folgende Versuche angeführt werden:

Erster Versuch. Nach Fechner entstehen Nobili'sche Figuren schon durch den schwächsten Strom einer einfachen Kette, wenn man z. B. ein polirtes Platin- oder Stahlplättchen in eine kleine Porzellanschale legt, einige Linien hoch darüber eine Lösung von essig- oder schwefelsaurem Kupferoxyd gieſst und die Platte durch die Flüssigkeit hindurch mit einem zugespitzten Zinkstäbchen berührt.

Zweiter Versuch. Schöner und lebhafter gefärbt erhält man aber diese Figuren bei Anwendung des Stromes einer etwa aus 2 bis 4 Gliedern bestehenden Kette von constanter Wirkung. Die Platte wird hierbei, je nach der angewendeten Flüssigkeit, in die sie gelegt wird, entweder mit dem + oder — Pole leitend verbunden und nachher der zugespitzte Platindraht als Zuleiter der Elektricität des andern Pols bis auf etwa 2 Linien genähert. Nach Schliefsung der Kette beginnt sofort

die ablagernde Wirkung der Platinspitze gegenüber und verbreitet sich in kurzer Zeit über die ganze Platte (s. Poggendorff's Annal. XXXIII. S. 537, Fechner's Lehrb. d. Galv. oder Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 385, R. Böttger's Beitr. z. Phys. u. Chem. Hft. II. S. 55).

§. 525.

Hydroelektrische Ströme vermögen aber nicht blos chemische Zersetzungen und Verbindungen hervorzubringen, sondern auch solche Wirkungen zu verhindern, die nach den gewöhnlichen Affinitätsgesetzen in einem der Tendenz des Stromes entgegengesetzten Sinne eintreten würden. Um nämlich ein Metall gegen die chemische Einwirkung einer Säure oder Salzlösung zu schützen, so ist es nur nöthig, dasselbe innerhalb der Flüssigkeit mit einem anderen Metalle zu berühren oder zu verbinden, welches im Contact mit dem zu schützenden Metalle zum positiven Elektromotor wird. Die oxydirenden und auflösenden Bestandtheile der Flüssigkeit gehen dann an das + Metall über, während sich am — Metalle nur die positiven Bestandtheile ausscheiden. Auf diese Weise läfst sich Eisen, Kupfer, Zinn, Blei und Silber durch Zink gegen die chemischen Wirkungen von Schwefel-, Salz- und Salpetersäure, Gold und Platin sogar gegen die auflösende Kraft des Königwassers schützen. Hierauf beruht die von Davy mit Erfolg in Anwendung gebrachte Beschützung des Kupferbeschlages der Seeschiffe gegen die zerstörende Einwirkung des Meerwassers, wenn dieser an mehren Stellen mit Platten von Zink, Schmiede- oder Gufseisen verbunden wird, deren Gesammtoberfläche nicht mehr als $\frac{1}{120}$ bis $\frac{1}{103}$ der Fläche des Kupferbeschlages zu betragen braucht (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 656, und Marbach's phys. Lex. II. S. 562). Bisweilen entspringen aber auch Nachtheile aus den Ablagerungen positiver Bestan

auf Metallen, wie dieſs z. B. in bleiernen Wasserleitungsröhren an den Löthstellen durch Ablagerung des im Wasser aufgelösten Kalks entsteht, wodurch sich die Röhren nach und nach verstopfen.

Dritter Versuch. Legt man ein Stück Eisen- oder Kupferblech in ein Porzellan- oder Glasgefäfs und übergiefst dasselbe mit verdünnter Salpetersäure, so wird jenes davon heftig angegriffen und aufgelöst. Berührt man es aber mit einem Stückchen Zink, so verschwindet die chemische Einwirkung auf jenes Metall, dafür aber geht sie nun auf das Zink über, und erst dann, wenn letzteres ganz aufgelöst ist, kommen die nicht mehr voltaisch geschützten Metalle wieder an die Reihe.

§. 526.

Endlich entstehen auch noch aus den Wirkungen solcher Ströme, welche zwischen den Poldrähten und den Bestandtheilen eines Elektrolyten eintreten, eigenthümliche Bewegungen, die man nach ihrem Ursprunge **elektrochemische Bewegungen** genannt hat. Schon vor mehren Jahren wurden solche Erscheinungen von **Erman** entdeckt, in der neueren Zeit sind sie aber noch genauer von **Herschel, Pfaff, Runge, Fechner** u. A. untersucht worden. Diese Bewegungen werden vorzüglich an der Oberfläche von Quecksilber sichtbar, über welches die zu elektrolysirende Flüssigkeit gegossen ist, sobald man die Poldrähte einer hydroelektrischen Kette einführt, wodurch diese geschlossen wird, und wo dann die entstehenden Strömungen je nach dem chemischen Charakter der Flüssigkeit bald vom positiven, bald vom negativen oder auch von beiden Poldrähten, und zwar theils geradlinig, theils in Curven ausgehen.

Solche Erscheinungen lassen sich mit Volta'schen Säulen von 10 bis 20 Plattenpaaren, wie mit constanten Batterieen von 2 bis 4 Gliedern darstellen, und bei manchen Flüssigkeiten reicht auch schon eine ganz kleine einfache Kette aus.

Folgendes sind die Hauptresultate, die sich bei Anstellung von solchen Versuchen ergaben:

Uebergieſst man das Quecksilber mit einer Säure, z. B. mit einer nur wenig verdünnten Schwefelsäure, so wird dasselbe vom + Poldrahte gleichsam fortgestoſsen und bei Anwendung einer alkalischen Lösung, z. B. Kalilauge, von diesem Poldrahte angezogen

Taucht man den negativen Poldraht durch eine alkalische Lösung in das Quecksilber, während der positive Poldraht dasselbe nur eben berührt, so zieht sich dasselbe am — Pole schnell zusammen, entfernt sich dagegen vom positiven. Ist der Contact des Quecksilbers mit beiden Polen wieder erfolgt, so tritt dieselbe Wirkung abermals ein, woraus eine fortdauernde abwechselnde Contraction und Expansion des Metalles entsteht. Bei Anwendung einer Säure treten dieselben Pulsationen ein, sobald der positive Poldraht in das Quecksilber getaucht, der negative aber nur mit der Oberfläche desselben in Berührung gebracht wird.

Durch eine einfache Kette lassen sich nach Runge folgende elektrochemische Bewegungen hervorbringen. Uebergieſst man nämlich Quecksilber mit einer concentrirten Kochsalzlösung und legt vorsichtig auf die Quecksilbermitte einen kleinen Krystall von schwefelsaurem Kupfer, so überzieht sich nach kurzer Zeit die glänzende Metallfläche mit einer matten Haut. Wird nun das Quecksilber mit einem blanken Eisendraht durch die Salzlösung hindurch berührt, so zerreiſst jene Haut, sie verschwindet allmälig, es beginnen Strömungen, die den Krystall in rotirende Bewegung versetzen, und dieser selbst verkleinert sich zusehends und verschwindet endlich ganz.

Mehre andere hierher gehörige Versuche findet man, und zwar noch ausführlicher beschrieben in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VIII. S. 67, Marbach's phys. Lex. II. S. 595, und in Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 431.

§. 527.

Nach erlangter Kenntniſs der verschiedenen Wirkungen, welche hydroelektrische Ströme hervorbringen, wird sich nun auch gehörig beurtheilen lassen, welche derselben sich am meisten zu einem vergleichbaren Maſse für die Stärke des Stromes oder die Kraft desselben eignet. Fechner, der durch seine Maſsbestimmungen Volta'scher

Ströme so gründliche und umfassende Kenntnisse hierin erlangt hat, stellt darüber im Wesentlichen folgende Ansicht auf.

Nach ihm sind die physiologischen Wirkungen, dem veränderlichen und verschiedenartigen Zustande der Reizbarkeit organischer Individuen zufolge, dazu gar nicht geeignet, wenigstens können ihre Anzeigen nur als sehr unbestimmte Maſse für die Stromstärke gelten.

Die Wärmeerregung, namentlich das Erglühen von Drähten, gewährt zwar eine gröſsere, aber nicht hinlängliche Sicherheit zu solchen meſsbaren Vergleichen und ist überhaupt mehr bei wirksameren Ketten, keineswegs aber bei solchen anwendbar, die eine geringe Stromstärke besitzen.

Der chemische Effect des Stromes, und zwar die durch ihn bewirkte Zersetzung des Wassers, giebt ein ganz genaues und unveränderliches Mittel an die Hand, die Stärke der Stromkraft sowohl nach Quantität als auch Intensität der Elektricität zu messen, indem man die Gasmengen vergleicht, welche durch einen solchen Strom in derselben Zeit entwickelt werden, oder indem man die Zeiten beobachtet, die erforderlich sind, um eine gleiche Gasquantität zu produciren. Als geeignete Meſsapparate hierzu dienen die §. 522 angeführten Voltameter, und sie werden zu diesem Behufe vorzüglich von Faraday empfohlen; es ist aber auch diese Maſsbestimmung nicht frei von einigen wesentlichen Uebelständen. Zunächst kann sie nämlich nicht bei der einfachen Kette angewendet werden, weil bei dieser die Wasserzersetzung so langsam vor sich geht, daſs ihr Product selbst in längerer Zeit unmerklich zu sein pflegt, weshalb sich diese Methode nur für zusammen-

gesetzte Ketten eignet, und auch dann bleibt noch der Uebelstand vorhanden, daſs bei allen auf diese Weise angestellten Versuchen eine längere Zeit als bei anderen Methoden erfordert wird, um meſsbare Resultate zu erhalten, die aber um so unsicherer und ungleicher ausfallen, je inconstanter der Strom bleibt, wie dieſs bei allen Ketten der älteren Art mit nur einer erregenden Flüssigkeit der Fall ist.

Es wären nun noch die magnetischen Wirkungen in dieser Beziehung zu prüfen übrig, und in ihnen finden wir alle Erfordernisse vereint, welche sich für ein genaues Maſs der Stromkraft wünschen lassen. Als Maſsstab dient hierbei die schon §. 517 angeführte Fundamental-Wirkung, die Ablenkung der Magnetnadel, nach welcher sich sowohl die stärksten wie die schwächsten Ströme messen lassen, indem man bei ersteren den einfachen Strom auf eine gewöhnliche Abweichungsnadel, bei letzteren den vervielfachten auf die Magnetnadel eines Multiplicators einwirken läſst.

Die Magnetnadeln können hierbei auf verschiedene Weise dazu dienen, die Stärke der Ströme zu messen oder nach genauen Maſsbestimmungen zu vergleichen. Entweder beobachtet man nämlich die Gröſse der Ablenkung, welche die Magnetnadel durch die Einwirkung des Stromes erleidet; oder es wird der Drehungsbogen gemessen, um den man eine an einer magnetischen Drehwage Coulomb's §. 461) aufgehangene Magnetnadel nach Einwirkung des Stromes zurückdrehen muſs, bis sie wieder auf denselben Stand kommt; oder man sucht endlich die Zeit, die eine und dieselbe Nadel unter der Einwirkung des Stromes braucht, um eine bestimmte Anzahl von Oscillationen zu vollenden.

Aus dem Ablenkungswinkel selbst läfst sich aber die Stromstärke auch noch auf verschiedene Weise bestimmen, und zwar hängt dieſs zunächst davon ab, ob der Strom nur in einer Linie oder in einer breiten Fläche unter oder über der Nadel weg fliefst. Geht nämlich der Strom, wie bei **Jacobi's Galvanometerbussole** (Fig. 326), in einem Leitungsdrahte dicht unter der Nadel, und zwar in der Richtung des magnetischen Meridians fort, so hat **Kämtz** (Schweigger's Journ. VIII. S. 106) erwiesen, **dafs die Gröfse der auf die Nadel wirkenden Stromkraft proportional ist dem Producte aus dem Sinus in die Tangente des Ablenkungswinkels.**

Bezeichnet man mit k und K die Stromstärke zweier hydroelektrischer Ketten, mit α und α' die durch sie hervorgebrachten Ablenkungswinkel an einer Galvanometer-Bussole, so verhält sich

$$k : K = \sin.\ \alpha\ .\ \text{tg.}\ \alpha : \sin.\ \alpha'\ .\ \text{tg.}\ \alpha'.$$

Um der hierbei nothwendigen Berechnung überhoben zu werden, hat **Pohl** nach obigem Gesetze eine Tabelle für alle Ablenkungswinkel von 1° bis 90° berechnet, aus der man dann für die in ganzen Graden gefundene Ablenkung die proportionale Gröfse der Kraft sogleich entnehmen kann. Diese Tabelle, dem **Kastner**'schen Archiv entlehnt, ist als die XXV. im Anhange mit aufgenommen worden.

Wird dagegen statt eines Drahtes als Stromleiter unter der Nadel ein Metallstreif angewendet, dessen Breite wenigstens viermal so grofs als die Länge der Nadel ist, so wirkt der in diesem Streifen fliefsende Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derselben gleich ein, weil er diesen Leiter der ganzen Breite nach gleichförmig durchströmt. In einem solchen Falle ist dann **die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional.** Instrumente, welche nach diesem Principe construirt sind, [illegible] **Tangentenbussolen**, und die kürzlich [illegible]

ıgegebene Einrichtung derselben beruht im Wesentlichen ›enfalls hierauf. (S. Poggendorff's Annal. LV. S. 27.)

Bei so schwachen Strömen, welche die Ablenkung der adel nur durch Hiife eines Multiplicators bewirken, läſst ch nach jenen Gesetzen die Stromstärke nicht bestimmen, eil selbst bei der sorgfältigsten Construction des Multilicators es schwer werden möchte, die verschiedenen Abände der Nadel von den einzelnen Windungen gehörig essen und in der Rechnung, die dadurch höchst complirt werden müſste, sicher aufnehmen zu können.

Ein sehr einfaches Mittel, wodurch man aber auch n bei einem Multiplicator eintretenden Ablenkungswinkel ır Maſsbestimmung der Stromstärke benutzen kann, beeht darin, daſs das Multiplicatorgewinde ebenfalls in der orizontalebene um den Mittelpunct der Magnetnadel drehır eingerichtet wird. Läſst man es dann der abgelenkten adel folgen, bis es gegen dieselbe genau wieder die früre Stellung hat, so ist die Stromkraft, die dann senkrecht ıf die Nadel einwirkt, der horizontalen erdmagnetischen raft (§. 452) gleich, welche letztere durch den Sinus des Vinkels gemessen wird, um den die Nadel vom magnetichen Meridiane abgelenkt wurde. Dieser Winkel aber st derselbe, um welchen man die Multiplicatorwindungen ıus ihrer ursprünglichen Lage gedreht hat, und kann auf iner für diese Drehung bestimmten Kreistheilung gemessen werden. — Auf diesem Principe, nach welchem sich die Stromstärke wie der Sinus dieses Drehungswinkels verhält, [illegible] die von Pouillet angegebene (s. de[illegible] Lehrb. [illegible], übers. v. Dr. Müller I. S. 564) [illegible] vollkommnete Sinusbussole [illegible] 04), wo die an [illegible] es möglich

macht, mittels eines Nonius den Ablenkungswinkel bis auf 2 Minuten genau messen zu können.

Noch ist zu bemerken, daſs bei allen Messungen aus dem Ablenkungswinkel der Nadel, wenn dieser nicht gröſser als 20^0 ausfällt, was man durch Einschaltung verschieden langer Leitdrähte, zu denen man am beſsten Neusilber anwendet, erreichen kann, die Stromkräfte dann den Quadraten dieser Winkelgröſsen als nahe proportional anzunehmen sind. (Vergl. hiermit Tab. XXV.)

Eben so kann man sich auch der von Ohm vorzüglich angewendeten und empfohlenen Messungsmethode bedienen, bei welcher, wie schon angeführt, der Multiplicator als Drehwage benutzt wird, indem man dessen Magnetnadel an einem feinen Drahte aufhängt und diesen mit dem Torsionszeiger der Wage verbindet. Bei'm Gebrauche muſs dieser Zeiger auf Null und die Nadel auf 0^0 ihrer Scala oder in der Richtung der Multiplicatorwindungen stehen. Der dann auf die Nadel einwirkende Strom wird diese um einen gewissen Winkel ablenken und dadurch dem Drahte eine entsprechende Drehung ertheilen. Anstatt aber diese Ablenkung zu messen, wird nun der Torsionszeiger so lange zurückgedreht, bis die Nadel wieder auf ihren früheren Stand kommt. Die Anzahl der Grade, um welche hierbei der Torsionszeiger fortgerückt werden muſste, ist dann der jedesmaligen Stärke der Stromkraft proportional.

Endlich ist auch noch die, insbesondere von Fechner bei seinen Maſsbestimmungen angewendete und anempfohlene Oscillationsmethode eine solche, die sich sowohl bei der einfachen Galvanometerbussole als auch bei dem Multiplicator anwenden läſst. Zu diesem Behufe muſs man der Magnetnadel eine solche Stellung geben, wo sie sich zugleich in der Richtung der magnetischen Erdkraft und

der Richtung der vom Stromleiter ausgehenden Kraft befindet, so daſs beide Richtungen dann in eine zusammenfallen. Der Strom und somit der einfache Drahtleiter der Bussole oder das Drahtgewinde des Multiplicators muſs hierzu den magnetischen Meridian rechtwinkelig durchschneiden, d. h. es muſs diesem diejenige Richtung gegeben werden, wo die Nadel keine bemerkbare Ablenkung erfährt, während der Strom auf sie einwirkt (vergl. §. 517). Versetzt man nachher die Nadel in Oscillationen, so verhalten sich alsdann (nach §. 461) **die Stromkräfte umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten oder die Anzahl der Zeittheile, die zur Vollbringung derselben Anzahl der Schwingungen erforderlich sind.** — Diese Methode besitzt die wesentlichen Vorzüge, daſs sie sowohl bei starken wie bei schwachen Strömen anwendbar ist, daſs sie sehr sichere und meist genauere Maſsbestimmungen ergiebt als die, welche bei den meisten Instrumenten aus dem Ablesen der Ablenkungswinkel zu erlangen sind, und daſs zugleich die magnetische Stromkraft mit der magnetischen Erdkraft verglichen werden kann, wenn man nämlich (nach §. 434) auf dieselbe Weise die Oscillationszeit sucht, die der Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus zugehört; dagegen erfordert dieses Verfahren allerdings noch eines genauen Zeitmessers, mit welchem jene Schwingungen stets verglichen werden müssen.

Gesetzt, die Magnetnadel vollende auf diese Weise unter Einwirkung eines Stromes k eine gewisse Anzahl von Schwingungen in 10 Secunden, unter dem Einflusse eines anderen Stromes K dieselbe Anzahl in 5 Secunden, so verhalten sich die Stromstärken

$$k : K = \frac{1}{10^2} : \frac{1}{5^2} = \frac{1}{100} : \frac{1}{25} = 25 : 100$$

oder $k : K = 1 : 4$,

und hätte dieselbe Nadel 20 Secunden nöthig ge[illegible] die

gleiche Anzahl von Schwingungen unter dem Einflusse der magnetischen Erdkraft M allein zu vollenden, so verhielten sich dann diese Kräfte folgendermaſsen:

$$M : k : K = \frac{1}{20^2} : \frac{1}{10^2} : \frac{1}{5^2}$$
$$= 25 : 100 : 400,$$
oder wie $1 : 4 : 16$,

d. h. die magnetische Erdkraft als Einheit angenommen, wäre die Stromkraft k 4mal und die K 16mal so groſs als jene.

(Fechner's Maſsbestimmg. d. galv. Kette. Leipz. 1831, und Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 141.)

Die magnetischen Maſsbestimmungen sind auch besonders geeignet, den Einfluſs genau kennen zu lernen und zu ermitteln, den in hydroelektrischen Ketten die Gröſse der erregten Oberflächen auf die Wirksamkeit derselben ausübt.

Fechner, der auch hierüber vielseitige Versuche anstellte, theilt darüber folgende Haupterfahrungen mit: Die Stromkraft nimmt im Allgemeinen mit der Vergröſserung der erregten Oberflächen, aber in geringerem Verhältnisse als diese zu. Die Wirkungsverstärkung zeigt sich der Erregungsfläche beinahe proportional, wenn die Erregungsflüssigkeit eine geringe Leitfähigkeit, wie z. B. Wasser, besitzt, wogegen sie bei gut leitenden Erregungsflüssigkeiten in einem weit geringeren Verhältnisse zunimmt. Die Stromverstärkung durch Vergröſserung der errregten Oberfläche erreicht eine Grenze, die um so näher liegt, je geringer der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit zu dem der festen Leiter ist. — Die Ursachen, wodurch diese Verhältnisse bedingt werden, bestehen Fechner's Meinung zufolge darin, daſs der Widerstand des Ueberganges und, in Ketten, wo der Querschnitt der Flüssigkeit mit der Oberfläche in gleichem Maſse wächst, auch der eigenthümliche Widerstand der Flüssigkeit, in geradem Verhältniſs der erregten Oberfläche abnimmt. (Vergl. §. 516, S. 886. u. Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 172, 239.)

Pohl, der ebenfalls zu gleichem Zwecke Messungen angestellt hat, will gefunden haben (s. Kastner's Archiv der gesammten Naturl. III. S. 11), daſs sich die Stromstärke einfacher hydroelektrischer Ketten, in welchen beide Elektromotoren der erregenden Flüssigkeit gleich groſse Flächen darbieten, unter sonst gleichen Umständen wie die Biquadratwurzeln der verschiedenen Gröſsen der wirkenden Flächen in den Ketten verhalten.

Ist nämlich die Metallfläche in der einen einfachen Kette a, in der anderen ma, und setzt man die Stromstärke k, so ist die der gröſsern

$$K = k\,\mathring{\gamma}m, \text{ und daher } m = \left(\frac{K}{k}\right)^4.$$

Hieraus ergiebt sich also, daſs bei gleichartig combinirten Ketten zur Erreichung der doppelten Stromstärke die erregende Oberfläche einer einfachen Kette $2^4 = 16$mal gröſser werden muſs als bei der Kette, deren Stromstärke hierbei als Einheit angenommen ist. — Bei Vergleichung einiger Daniell'scher Ketten von verschiedener Flächengröſse fand ich bei Anwendung desselben Leitungsdrahtes nach dem Ablenkungswinkel einer Galvanometer-Bussole die Stromstärken jenem Gesetze entsprechend, so daſs sich erst bei einer 16mal gröſseren Kupferfläche die Stromstärke verdoppelte. Als die Stromstärken einer Zink-Kupfer- und Zink-Platinkette von gleichen Flächengröſsen (wo für das Zink mit 9 Theilen Wasser verdünnte Schwefelsäure, für's Kupfer concentrirte schwefelsaure Kupferlösung und für das Platin Salpetersäure von 1,3 spec. Gew. als erregende Flüssigkeit angewendet wurde) auf diese Weise gesucht wurden, verhielten sich dieselben wie 1 : 2 (die Ablenkungswinkel der Magnetnadel waren 34° und 46°, diesen entsprechen nach der XXV. Tabelle die Stromstärken 0,1238 und 0,2445, woraus sich das Verhältniſs 1 : 1,94 ergiebt), so daſs die Platinkette hiernach mit einer der Fläche nach 16mal gröſseren Kupferkette gleiche Stromstärke zeigte, was mit Jacobi's Resultaten hierüber (s. §. 510, S. 862) fast ganz übereinstimmt. — Ein Vergleich hinsichtlich des Stromeffects zwischen einer Hare'schen Spirale und einer Grove'schen Kette ergab folgendes Resultat. Die Spirale hatte 2400 Q^{cm} wirksame Kupferfläche, es wurde bei ihr die Faraday'sche Flüssigkeit angewendet, und sie gab an der Galvanometer-Bussole eine Abweichung der Nadel von 36°, was nach der Pohl'schen Tabelle einer Stromstärke von 0,1402 entspricht. Eine Zink-Platinkette, wo letzteres Metall 64 Q^{cm} erregte Fläche hatte, gab bei Anwendung desselben Schlieſsungsbogens 46° Ablenkung und hatte mithin eine Stromstärke von 0,2445. Nach jenem Gesetze muſste daher eine Platinkette, deren Strom nur die Stärke von jener Spirale haben sollte, eine Fläche erhalten, die $m = (\frac{1402}{2445})^4 = 0{,}108$mal so groſs als die von 64 Q^{cm} oder 64 . 0,108, also ungefähr 7 Q^{cm} werden muſste. Als nun von jener Normal-Zink-Platinkette nur 7 Q^{cm} in Wirksamkeit gesetzt wurden, zeigte die Bussole auch wirklich 36° Ablenkung, und es gaben daher diese 7 Q^{cm} Platin denselben Stromeffect wie die 2400 Q^{cm} Kupferfläche in der Hare'schen Spirale, woraus dann folgt, daſs die Kupferfläche in dieser Kette 2400 : 7 = 343mal gröſser als die Platinfläche einer Grove'schen Kette sein muſs, wenn beide Ketten eine gleiche Stromstärke haben sollen.

§. 528.

Noch wird es am Schlusse dieses wichtigen Theiles der Elektricitätslehre nothwendig, über die primitive Ursache der Entstehung der Galvanischen oder Volta'schen Elektricität die Meinungen der Physiker kennen zu lernen. Merkwürdig ist es, dafs, ungeachtet in der neueren und neuesten Zeit dieser Elektricitätsquelle von den ausgezeichnetsten Physikern am eifrigsten nachgeforscht und dabei so viel Neues und Wichtiges zu Tage gefördert worden ist, dennoch eine Uebereinstimmung der Ansichten daraus noch nicht hervorging. Es sind nämlich hauptsächlich zwei Theorieen, zu denen sich die Mehrzahl der Physiker bekennt, wovon die eine nach dem von Volta aufgestellten Principe die Contact-Theorie, die andere nach den zuerst von Wollaston ausgesprochenen, gegenwärtig weiter verfolgten und ausgebildeten Ansichten die chemische Theorie heifst.

Die Contact-Theorie, zu welcher sich die Mehrzahl der deutschen Physiker bekennt und als deren Vertheidiger, gestützt auf gründliche Untersuchungen und Versuche, vorzüglich Ohm, Fechner, Pfaff, Henrici, Poggendorff, Berzelius, Jacobi und Martens aufgetreten sind, nimmt an, dafs bei der Berührung oder Berührungsnähe zweier ungleichartigen Körper eine Kraft, die man die elektromotorische genannt hat, geweckt werde, deren Wesen aber allerdings noch unbekannt sei. Es bewirke nun dieselbe eine Zersetzung der neutralen Elektricitäten beider sich berührenden Körper in der Art, dafs sich ein bestimmter Antheil + Elektricität in dem einen, und ein entsprechender Antheil — Elektricität in dem anderen anhäufe, zugleich aber behindere sie die Wiedervereinigung dieser ± Elektricitäten, und dadurch sei der constante *Tensions*-Unterschied zwischen den in Contact befindlichen

Körpern bedingt. Um sich von dem Einflusse des chemischen Processes auf die Volta'schen Erscheinungen Rechenschaft zu geben, nimmt Fechner an, dafs zwischen den Atomen zweier Körper, die mit einander eine chemische Verbindung eingehen, ein ganz ähnlicher Procefs stattfinde, wie der vorerwähnte bei'm Contact zweier heterogener Körper. Die dann mit entgegengesetzten Elektricitäten gleichsam geladenen Atome würden durch ihre gegenseitige Anziehung an einander gehalten, wodurch das, was man chemische Verwandtschaft (§. 63) nennt, bedingt sei.

(S. Biot's Lehrb. d. Exper. Phys. III. S. 321, 372, Pfaff's Rev. d. Galvano-Voltaismus, Henrici, über d. Elektricität d. galv. Kette, und Poggendorff's Annal. XLI. S. 255, XLII. S. 481, LIV. S. 37, XLIX. S. 461, LI. S. 110, 197, LIII. S. 303. XLIX. S. 31, LIII. S. 436, LV. S. 437, 612.)

Nach der chemischen Theorie, die in neuerer Zeit hauptsächlich durch Faraday, de la Rive, Becquerel und Schönbein erweitert wurde, wird der Galvanischen Elektricität ein chemischer Ursprung zugeschrieben, und zwar spricht sich darüber ihr eifrigster Vertheidiger, de la Rive, ungefähr folgendermafsen aus: Sobald ein Körper in ein gasförmiges oder flüssiges Mittel kommt und zwischen beiden eine chemische Vereinigungs-Tendenz stattfindet, so veranlafst diese zunächst eine Aufhebung des elektrischen Gleichgewichtes, und sobald diese Bedingung für die chemische Action eingetreten ist, erfolgt die Vereinigung der Bestandtheile des festen Körpers mit den entgegengesetzt elektrisch gewordenen der Flüssigkeit. In der Regel wird der Körper, z. B. das [illegible] welches in dem chemischen Verbindungs-Processe [illegible] positiv und die active Flüssigkeit [illegible] bei solchen Processen zugleich [illegible]

stattfindet, wobei diejenige Elektricität frei wird, die sie vorher gebunden hielt und die stets der entgegengesetzt sein muſs, die sie zu einer neuen Verbindung disponirt, so ist auch das Resultat beider Processe von der Differenz jener Wirkungen abhängig. Hiernach sowohl als auch nach den Hindernissen, die der Wiedervereinigung der freigewordenen Elektricitäten entgegentreten, richtet sich die Intensität der dadurch rege gewordenen elektrischen Thätigkeit. Befinden sich zwei sich berührende heterogene Metalle in einem auf sie mit ungleicher Stärke einwirkenden Mittel, so werden beide durch dieses elektrisch, und zwar das stärker angegriffene immer positiv, das andere negativ. Verbindet man dann mehre solche Paare zu einer hydroelektrischen Kette, so fungiren für jedes Paar die übrigen als Leiter der frei gewordenen Elektricität, die auf diesem Wege dann in diesem Metalle zusammenkommenden ± Elektricitäten neutralisiren sich im Verhältniſs ihrer Mengen, und so muſs sich daher die + Elektricität nach der einen, die — Elektricität nach der anderen Seite hin anhäufen. (S. Poggendorff's Annal. XV. S. 98, XXXVII. S. 225, XL. S. 355, 515, XLVI. S. 489, XXXV. S. 1, LII. S. 149, 547, LIII. S. 316, 479, 548.)

Die Anhänger beider Theorieen waren und sind noch gegenwärtig bemüht, Beweise für die Richtigkeit ihrer Ansichten aufzufinden, ohne daſs es jedoch bis jetzt dem einen oder dem anderen Theile dadurch gelungen ist, einen entschiedenen Sieg sich zuzuwenden; jedoch verdanken wir diesen Bemühungen gröſstentheils die mannigfachen Erweiterungen, welche dieser Theil der Elektricitätslehre in der neueren Zeit erfahren hat. Die [illegible] Anhänger der chemischen Theorie läugnen [illegible] Elektricitätserregung durch blosen Contact, [illegible] so weit gehen, die Oxydationsfähigkeit [illegible]

zu hypothesiren, während die Volta'schen Fundamentalversuche, so wie sie Fechner anzustellen gelehrt hat, ein zu wohl begründetes Factum sind, als dafs man die Entstehung von Elektricität durch blosen Contact noch in Zweifel stellen könnte, und es giebt selbst Fälle, wo bei hydroelektrischen Combinationen eine chemische Einwirkung der Flüssigkeiten auf die Elektromotoren durchaus nicht stattfindet, und dennoch eine elektrische Erregung, den Annahmen der Contact-Theorie entsprechend, eintritt (1); ja selbst dann, wenn eine solche vorhanden ist, wird in manchen Fällen der Contact der Metalle die Veranlassung, dafs diese ursprünglich rein chemische Action aufhört und dafür eine entgegengesetzte im Sinne der Contact-Theorie entsteht (2). Eben so haben auch viele Voltaisten noch die beharrliche Meinung, dafs der Chemismus nie die primitive Ursache von Elektricitäts-Erregung werden könne, während sich wohl aber die Möglichkeit nicht völlig in Abrede stellen läfst, dafs in manchen Fällen auch chemische Actionen unmittelbar die Veranlassung zur Erregung von Elektricität werden können (3), und von einigen Anhängern dieser Theorie wird es durchaus auch nicht geläugnet, dafs chemische Thätigkeit den elektrischen Proceſs erhöhen kann, sobald jene in gleichem Sinne wie der Contact erregend einwirkt. Ueberhaupt aber wird es immer schwierig bleiben, den Antheil, den der Chemismus an der Elektricitätserregung hat, zu ermitteln, weil es ohne Contact gar keine chemische Wirkung geben kann und weil der Effect selbst von so mancherlei Nebenumständen, [redacted]rad, Temperatur der Flüssigkeit u. s. w.,

, dafs ohne irgend eine chemische
in sie getauchte Elektromotoren
n eine sehr kräftige elektrische
Pfaff folgenden Versuch als

ein *Experimentum crucis* an. (S. Poggendorff's Annal. LIII. S. 303.)

Erster Versuch. Wenn man in einer Zink-Platinkette als erregende Flüssigkeit für das Zink eine völlig neutrale schwefelsaure Zinklösung und für das Platin wie gewöhnlich Salpetersäure anwendet, so kann weder die eine, noch die andere Flüssigkeit den Affinitätsgesetzen zufolge auf die in sie getauchten Metalle eine chemische Wirkung ausüben; dessenungeachtet entsteht ein eben so starker oder ein fast eben so starker Strom, als wenn für das Zink Schwefelsäure angewendet wird, sobald man die Kette schliefst.

2.) Berzelius giebt als einen Hauptbeweis, dafs die Erregung von Elektricität durch den Contact heterogener Körper ganz unabhängig von auf diese einwirkenden chemischen Actionen ist und dafs jene Erregung sogar die chemische Thätigkeit umzuändern und zu bestimmen vermag, folgenden Versuch an.

Zweiter Versuch. Die Fig. 334 stellt eine einfache aus zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten combinirte Kette dar, und zwar ist *z* eine nahe am Boden des Cylinderglases befindliche amalgamirte Zinkplatte und *k* eine parallel darüber befindliche eben so grofse Kupferplatte. Von beiden geht ein oben umgebogener Metallstreif, der mit einem gegen chemischen Angriff schützenden Firnifs überzogen werden kann und womit sie über den Rand des Glases gehangen werden, als Leiter aus, deren Enden bei *n* und *p* mit Schraubenhülsen versehen sind. Auf den Boden des Gefäfses wird eine vollkommen neutralisirte schwefelsaure Zinklösung so hoch gegossen, dafs sie bis zur halben Höhe zwischen der Zink- und Kupferscheibe zu stehen kommt, und über diese läfst man dann mittels eines feinen gläsernen Trichters, dessen Röhre am Ende etwas aufgebogen ist, gewöhnliche Salpetersäure fliefsen, so dafs diese sich über die viel schwerere Zinklösung verbreitet, ohne sich damit zu vermischen, bis sie ungefähr einen halben Zoll über der Kupferplatte steht.

Vor Schliefsung der Kette ist in ihr nur der Chemismus thätig, und zwar wird den Gesetzen der Affinität zufolge, das Kupfer in der Säure rasch aufgelöst, während auf dem Zink eine chemische Action nicht stattfindet und auch nicht stattfinden kann. Wäre der chemischen Theorie entsprechend die Oxydation eines der Metalle bedingende Ursache der elektrischen Verhältnisse in der Kette, so würde dann das Kupfer als das chemisch afficirte Metall positiv, das Zink negativ elektrisch werden müssen. Sobald aber die Schliefsung der Kette eintritt, hört die Auflösung des Kupfers augenblicklich auf, die grüne Farbe der Kupferlösung verschwindet allmälig, und es beginnt die Reduction des bereits aufgelösten Kupfers auf

der Kupferplatte, während um das Zink herum eine Wolke entsteht, die eine Folge des sich bildenden Zinkoxydes ist, und eine in den Schliefsungsbogen eingeschaltete Galvanometer-Bussole zeigt, dafs der Strom die Richtung angenommen hat, welche dem Princip der Contact-Theorie entspricht. (S. Berzelius, Lehrb. d. Chem. 5te Aufl. I. S. 84.)

3.) Um sich von dem Auftreten elektrischer Kräfte bei einer vor sich gehenden chemischen Verbindung zu überzeugen, empfiehlt Becquerel die Verbindung einer Säure mit einem Alkali, wozu folgender einfache Versuch angestellt werden kann.

Dritter Versuch. In ein Platinschälchen, welches mit dem einen Drahtende eines Multiplicators verbunden ist, giefse man etwas Salpetersäure. Das andere Drahtende wird mit einem Stücke Platindraht in Verbindung gebracht, dessen freies Ende in einen Haken umgebogen ist, worein man etwas Asbest oder Baumwolle klemmt, um sie dann mit einer Kali- oder Natronlösung zu tränken. In dem Augenblicke, wo man dieses Alkali in die Säure des Platinschälchens taucht, zeigt die Multiplicatornadel das Auftreten eines Stromes an, welcher vom Alkali zur Säure geht.

Nach der chemischen Theorie entsteht hier der Strom aus der chemischen Action der beiden Flüssigkeiten auf einander, wogegen nach der Contact-Theorie derselbe der elektromotorischen Einwirkung der verschiedenartigen Flüssigkeiten auf das Platin zugeschrieben wird, oder sie betrachtet diese Combination als eine Kette von einem homogenen Metall in zwei heterogenen Flüssigkeiten (§. 510).

Nicht unwahrscheinlich ist es aber, dafs keine der beiden erklärten Hypothesen in ihren Extremen der Wahrheit völlig entsprechen möchte, und einige Physiker, unter anderen Jacobi (Poggendorff's Annal. L. S. 339), Pohl (Poggendorff's Annal. LIV. S. 515), Buff (d. Zusammenhang d. neueren Elektricitätslehre mit d. Contact-Theorie), Baumgartner u. v. Ettingshausen (Baumgartner's Naturl. 7te Aufl. S. 504), haben Andeutungen zu einem Mittelweg zwischen beiden Hypothesen gegeben. Es mag daher hier noch die von den letztgenannten [illegible]ufgestellte Ansicht einen Platz finden, da in

für beide Theorieen spricht, in einer solchen Art verschmolzen ist, dafs jene auch darin eine befriedigende Erklärung finden können.

Die Physiker halten nämlich schon längst die Kräfte, welche der Adhäsion, und jene, welche der chemischen Verwandtschaft zum Grunde liegen, nicht für wesentlich verschieden; ja einige haben es sogar versucht, die Verwandtschaftsgrade nach der Gröfse der Adhäsion zu bestimmen. (Scholz's Phys. 4te Aufl. I. S. 152). Es ist dem Geiste der Wissenschaft nach ihrem gegenwärtigen Stande nicht unangemessen, die chemische Anziehung als eine verstärkte Adhäsionskraft zu betrachten. Prechtl (Poggendorff's Annal. XV. S. 223) hat in der That die innige Verbindung zwischen der Adhärenz der Metalle und ihrer elektrischen Differenz, d. h. ihrer relativen Stelle in der Spannungsreihe (§. 507) nachzuweisen gesucht; Becquerel hat gezeigt, dafs auch durch Capillaritätswirkung, die bekanntlich ganz auf Adhäsion und Cohärenz beruht, Elektricität erregt werde. Ferner ist aus Girard's Versuchen, so wie aus der Theorie der Haarröhrchen (Poggendorff's Annal. V. S. 41) bekannt, dafs die Adhäsion eine Aenderung der Dichte der flüssigen an feste grenzenden Körperschichten bewirke. Auf diese Thatsachen gestützt, denken wir uns die Elektricitäts-Erregung bei einem Volta'schen Elemente als den Erfolg der Molecular-Veränderung, welche sich berührende Körper, zwischen denen eine Adhäsion stattfindet, durch die Adhäsionskraft erleiden. Die Veränderung bezieht sich oft nur auf die Dichte der sich berührenden Körper, und zwar oft sogar nur auf die der Berührungsstelle nächsten Schichten, bei intensiver Kraft und günstigen Umständen aber auch auf die che-

ische Natur der Körper. Diese Ansicht bedarf nicht der nnahme einer neuen Kraft, wie jene der Contact-Hypothese er elektromotorischen Kraft), und macht doch das Erheinen von Elektricität ohne chemische Wirkung erklärr; sie hat mit der chemischen Hypothese gemein, dafs e, wie diese, die Erscheinungen einer einfachen Kette, s den Molecularkräften ableitet, dafs der flüssige Körper rch diese Kraft und nicht blos als Leiter wirksam gecht wird, und dafs die Bestandtheile der Kette durch re physische Veränderung die Quelle der Elektricität erden, die Berührung aber diese Veränderung möglich ache, mithin nur veranlassende, nicht die eigentlich wirnde Ursache des Elektrischwerdens sei. Sie steht in diem Sinne der chemischen Hypothese näher als der Conct-Hypothese, welche eine Elektricitäts-Entwickelung ohne eitere Veränderung der Körper annimmt; ja die chemische nsicht ist ein besonderer Fall von dieser. Das gleichzeitige nftreten chemischer Wirkungen mit Elektricität-Entwickelngen und der Umstand, dafs die chemische Kraft einer nfachen Kette in dem Mafse ab- und zunimmt, wie die emische Wirkung zu dem flüssigen Leiter und den Beandtheilen der Kette kleiner oder gröfser wird, steht mit ieser Ansicht im belsten Einklange. Es geht aus derselen hervor, dafs die elektrische und Molecularkraft eines nd dasselbe sind, und dafs letztere jedesmal als Elektrici-it erscheint, wenn sie aus einer Wirkungsweise in eine ndere übergeht, wie z. B., wenn sie aufhört, die Bestandeile des Wassers zusammenzuhalten und dafür das Zink xydirt. Schönbein's neuestens aufgestellte Hypothese er chemischen Tendenzen ist von dieser A [illegible] esentlich verschieden. (S. Pogg , 89, 229, und Berzelius,

IV. Von den chemischen Actionen bei Aenderung der Aggregatform, bei mechanischen Trennungen und von den bei'm Druck von Körpern eintretenden elektrischen Erscheinungen.

§. 529.

In nächster Beziehung zu den sowohl durch Reibung als auch durch Contact hervorgerufenen elektrischen Erscheinungen stehen die, welche bei chemischen Actionen von Körpern auf einander, bei Aenderung ihrer Aggregatform, bei Aufhebung der Cohäsion durch Trennung von Körpertheilen und bei'm Druck von Körpern gegen einander sich nachweisen lassen. In allen den angeführten Fällen tritt ebenfalls eine Aenderung des Molecularzustandes theils im Innern der Körpermasse, theils nur an den sich berührenden Flächen ein, wonach sich auch hier der Meinung einiger Physiker zufolge (s. §. 505 u. 528) dieſs als die allgemeine Ursache zur Störung des elektrischen Gleichgewichtes annehmen läfst.

Sowohl bei chemischen Verbindungen, als auch bei solchen Zersetzungen von vielen Körpern, wird in diesen der elektrische Neutralitäts-Zustand aufgehoben, was sich unzweifelhaft nachweisen läfst, sobald die sich verbindenden oder trennenden Körper mit den Drähten eines Galvanometers oder mit dem Zuleiter eines empfindlichen Elektrometers in leitender Verbindung stehen. Sei es nun, dafs der vom Galvanometer angezeigte Strom oder dafs die durch das Elektrometer sich zu erkennen gebende elektrische Spannung nach der Contact-Theorie aus der Berührung der heterogenen Körper, oder nach der chemischen Theorie aus der chemischen Wirkung derselben auf einander entspringe, so wird doch die Störung des elektrischen Gleichgewichtes nach beiden hypothetischen Annahmen durch die Anzeigen jener Mefswerkzeuge bestätigt, und da zufolge

elektrochemischen Systems (§. 521) jede chemische Verdung auf der Vereinigung elektrischer Gegensätze beit, so mufs auch sowohl bei chemischen Verbindungen als chemischen Trennungen zwischen den in dieser Activität indlichen Körpern der bestehende elektrische Neutralitätsstand aufgehoben werden. Als Versuche, welche dafür echen, dafs bei beiden Arten solcher chemischen Wirkgen eine elektrische Erregung eintritt, können folgende geführt werden:

Erster Versuch. Elektricitäts-Erregung bei chemischen Verbindungen. — Als einen Beweis hiervon führt obili folgenden Versuch an, der auch mit einigen Abänderngen von Fechner wiederholt und bestätigt gefunden wurde. Zwei kleine Gläser *A* und *B* werden mit einer Lösung on salpetersaurem Kali gefüllt, in die man die mit Platinlättchen armirten Drahtenden eines Multiplicators leitet. Ein rittes Glas *C*, welches verdünnte Salpetersäure enthält, wird it den beiden vorigen Gläsern durch zwei in die Salpeterisung getauchte Fäden von Asbest oder Baumwolle in leitende erbindung gebracht. Sobald man nun den einen dieser Leiter, evor durch ihn die Kette geschlossen wird, um einen Stängel etzkali wickelt, so tritt die chemische Action dieser beiden toffe und in demselben Augenblicke auch eine Ablenkung der ultiplicatornadel ein, aus der sich ergiebt, dafs der Strom om Kali zur Salpetersäure geht. — Ganz ähnliche und entprechende Ablenkungen entstehen auch bei anderen derartigen hemischen Verbindungen, so wie bei solchen, wo die chemisch verwandten Stoffe ihre Leitfähigkeit erst durch Schmelzng erhalten.

Aus der im Vorangehenden beschriebenen Anordnung des chliefsungsbogens ersieht man, dafs die mit dem Multiplicator erbundenen Platinplatten in eine und dieselbe Flüssigkeit der läser *A* und *B* tauchen, und dafs daher die Entstehung des romes hier nicht aus dem Contact des Metalles mit heterogen Flüssigkeiten hergeleitet werden kann, sondern die Störung es elektrischen Gleichgewichtes tritt in dem Glase *C* in dem ugenblicke ein, wo die Berührung des Aetzkalis mit der Salpetersäure erfolgt. (S. Poggendorff's Annal. XIV. 457, LVIII. 3, 5, und Dove's Repert. d. Phys. II. S. 103, 1

Ein weit kräftigerer Strom entsteht aber, wenn ittle Gefäfs *C* wegläfst, in das *A* aber Salpetersäure 3 Aetzkalilauge gieſst, die homoge tten

heterogenen Flüssigkeiten selbst eintauchen läfst, und dann zwischen *A* und *B* auf eine ähnliche Weise, wie oben angegeben wurde, eine leitende Verbindung herstellt. Aus dieser Anordnung ist nun eine Becquerel'sche Kette (§. 510, 2) entstanden, durch den Contact des Platins mit diesen heterogenen Flüssigkeiten entspringt ebenfalls ein Strom, und zwar in demselben Sinne, wie der durch die chemische Action des Aetzkalis mit der Salpetersäure, und aus der Differenz der Stromstärken ersieht man zugleich, welcher Antheil beiden Erregungsursachen an der Gesammtwirkung der Stromkraft beizumessen ist. (S. Poggendorff's Annal. XLVIII. S. 18.)

Zweiter Versuch. Zwei homogene mit den Drahtenden eines Multiplicators verbundene Platinstreifen tauche man gleichzeitig in ein, Salpetersäure enthaltendes Glas. Es stehen dann die Platinplatten mit derselben Flüssigkeit in Contact, und diese übt auch keine chemische Action aus; daher bleibt die Multiplicatornadel in Ruhe. Jetzt lasse man aber an der einen Platinplatte einen Tropfen Chlorwasserstoffsäure herabfliefsen, und augenblicklich giebt die Nadel einen Ausschlag, welcher das Auftreten eines Stromes von dieser Platinplatte durch die Flüssigkeit zur anderen anzeigt. Das durch den Tropfen Salzsäure entstehende Königswasser wirkt nämlich nun chemisch auf den davon berührten Platinstreif ein. — Dieser Fall ist aber einer von denen, wo es schwierig ist, den Antheil zu bestimmen, den der Chemismus an der frei werdenden Elektricität hat. Die Anhänger der chemischen Theorie halten die chemische Action, die der Contact-Theorie dagegen die Berührung des homogenen Metalls mit den nun heterogenen Flüssigkeiten, für die alleinige Ursache des entstehenden Stromes, während es aber am wahrscheinlichsten ist, dafs beiden Ursachen vereint, da sie in gleichem Sinne die Stromerregung erzeugen, der resultirende Stromeffect zuzuschreiben ist.

Dritter Versuch. Elektricitäts-Erregung bei'm Verbrennungs-Processs. — Bei'm Verbrennen der Kohle soll nach Pouillet's Versuchen (s. dessen Lehrb. d. Phys., übers. von Dr. Müller II. S. 518) diese negativ, die sich bildende Kohlensäure aber positiv werden. Das Verfahren, welches Pouillet dabei anwendete, war folgendes. Ein kleiner Cylinder von gut leitender Kohle wurde mit einer recht ebenen Grundfläche auf eine Messingplatte gestellt, die mit dem Condensator eines Elektrometers leitend verbunden war, und sein oberes Ende angezündet. Das Verbrennen unterhält und befördert man, indem aus einer Blase atmosphärische Luft, noch besser aber Sauerstoffgas darauf geblasen wird. Sobald die untere Condensatorplatte mit dem Boden in leitender Verbindung steht, zeigt sich dann der Condensator nach wenigen Augen-

blicken mit — Elektricität geladen. — Wird die Kohle auf eine mit dem Boden in leitender Verbindung stehende Metallplatte gesetzt und während ihres Verbrennens unter jene Messingplatte des Condensators so gehalten, dafs die sich bildende Kohlensäure an diese aufsteigt, so soll sich der Condensator positiv laden. — Dellmann hat an seinem Elektrometer ebenfalls das Freiwerden von — Elektricität bei'm Verbrennen von Kohle wahrgenommen (s. Poggendorff's Annal. LV. S. 304), und Pfaff bestätigt dasselbe, will aber durchaus keine Spur von + Elektricität durch die sich erzeugende Kohlensäure erhalten haben. (S. Poggendorff's Annal. LI. S. 118.) Auch bei'm Verbrennen einiger anderen, jedoch nicht aller combustibeln Körper wollen mehre Physiker analoge Spuren von frei werdender Elektricität beobachtet haben.

Vierter Versuch. Elektricitäts-Entwickelung bei chemischen Zersetzungen. — Als Belege hierzu können die von Dr. R. Böttger angestellten Versuche angeführt werden. (S. dessen Beitr. z. Phys. u. Chem. Hft. II. S. 18 u. 115.) — In ein Platinschälchen, welches mit dem Condensator oder unmittelbar mit dem Zuleiter eines empfindlichen Elektrometers durch einen in einen Ring sich endigenden Draht, worein jenes Schälchen gesetzt wird, in leitender Verbindung steht, bringt man einige Gran citron- oder oxalsaures Silberoxyd und erhitzt nun die Platinschale durch eine darunter gehaltene einfache Spirituslampe so lange, bis die Zersetzung dieser Salze eintritt. Sobald man die Lampe entfernt, zeigt der Elektrometer frei gewordene — Elektricität an, und in dem Platinschälchen hat sich fein zertheiltes metallisches Silber gebildet.

Fünfter Versuch. Auf eine mit dem Condensator verbundene Metallplatte bringe man ein Stückchen mit Wasser befeuchtetes Fliefspapier und lege auf dieses etwas in Stanniol gewickeltes krystallisirtes salpetersaures Kupferoxyd. Die Stanniolhülle mufs an einigen Stellen mit einer Stecknadel durchlöchert sein. Sobald nun das Ganze mit etwas verdünntem Weingeist befeuchtet wird, beginnt auch nach einiger Zeit die Zersetzung des Salzes, und namentlich in den Momenten, wo Funken sichtbar werden und salpetrige Dämpfe emporsteigen, ladet sich der Condensator mit — Elektricität.

Sechster Versuch. Stellt man auf die Zuleiterplatte eines empfindlichen Elektroskops (z. B. eines Becquerel'schen Fig. 292 oder Oerstedt'schen Fig. 291) eine flache Schale von Zink und gieſst hierauf verdünnte Salz- oder Schwefelsäure in dieselbe, so zeigt das Elektroskop, nachdem die Wasserstoffgas-Entwickelung und chemische Auflösung des Metalls eingetr[illegible] frei werdende — Elektricität an. — Ganz dieselb[illegible]

tritt ein, wenn man, wie beim vierten Versuche, in die Platinschale, wozu aber noch vortheilhafter ein kleiner Tiegel angewendet werden kann, reine Eisenfeile (*limatura Ferri praeparata*) bringt und dann Salz- oder Schwefelsäure darauf gießt.

§. 530.

Auch bei Aenderung des Aggregatzustandes mancher Körper hat man Elektricitätserscheinungen wahrgenommen. Namentlich zeigen sich dergleichen beim Erstarren geschmolzener Körper und beim Gefrieren des Wassers. Die beim Krystallisiren einiger Salze sichtbar werdenden Funken und elektroskopischen Wirkungen scheinen aber mehr eine Folge eintretender Trennungen zwischen den schon gebildeten Krystallen, als eine Folge der Krystallbildung selbst zu sein. (S. d. folgenden §. 531. Versuch 2.)

Erster Versuch. Schwefel, den man in einem Glase geschmolzen hat und dann auf einem guten Leiter mit diesem erkalten läßt, zeigt sich beim Herausnehmen aus diesem Gefäße negativ, das Glas positiv elektrisch. — Bei demselben Verfahren mit einem Metallgefäß wird dieses negativ und der Schwefel positiv elektrisch. — Aehnliche Erscheinungen werden auch an erstarrter Chocolate wahrgenommen.

Ob die in den angeführten Fällen eintretenden elektrischen Phänomene ihren eigentlichen Grund in der Aggregatumwandlung der Körpermasse haben, ist mit völliger Gewißheit nicht zu behaupten. Einige Physiker sind nämlich der Meinung, daß sie eigentlich eine Folge der Reibung wären, welche dann eintritt, wenn die erstarrten Körper von den Oberflächen der Gefäße getrennt werden, in welchen sie sich befinden. Ist diese Annahme die richtige, so gehörten diese Erscheinungen in die Kategorie derjenigen, wovon noch im folgenden §. die Rede ist.

Zweiter Versuch. Wasser, das in einem, wie eine Leidener Flasche von außen belegten Glase bei einer sehr niederen Temperatur (— 24° R.) schnell gefror, wurde nach Grotthuß positiv elektrisch; unter hoher Temperatur schnell geschmolzen, zeigte es aber — Elektricität.

(Gehler's phys. Wrtb. n. A. IV. S. 261 u. Marbach's phys. Lex. II. S. 114.)

Ob beim Uebergang tropfbarer Flüssigkeiten in Dämpfe, oder bei der Condensirung derselben Elektricität frei werde,

darüber fehlen bis jetzt noch evidente Beweise. Pouillet will allerdings nach mehren Versuchen gefunden haben, dafs beim Verdampfen von alkalischem Wasser die Dämpfe mit positiver, bei gesäuertem Wasser mit negativer Elektricität entweichen (s. Poggendorff's Annal. XI. S. 417, u. Pouillet's Lehrb. d. Phys., bearb. v. Dr. Müller I. S. 521), jedoch wird dieſs Factum nach von Pfaff darüber angestellten Versuchen geläugnet (s. Poggendorff's Annal. LI. S. 110 u. 118). Da diese Resultate aber, so wie die bei der Verbrennung der Körper eintretenden, hinsichtlich der Schlufsfolgen, die man daraus in Bezug auf die in der Atmosphäre stattfindenden elektrischen Erscheinungen gezogen hat, von besonderer Wichtigkeit sind, ihre Richtigkeit aber durch die Pfaff'schen Gegenversuche zweifelhaft geworden ist, so wäre es sehr zu wünschen, dafs dieselben einer nochmaligen sorgfältigen Prüfung unterworfen würden, wobei man zugleich alle influirende Umstände berücksichtigte.

Dafs aber beim Ausströmen von Wasserdämpfen in die Atmosphäre, die unter einem hohen Drucke stehen, eine beträchtliche Menge Elektricität frei wird, wurde (1841) zufällig in England an dem Dampfkessel einer Locomotive beobachtet. Armstrong, der diese Erscheinung näher untersuchte, fand sie bestätigt, und durch zweckmäfsig angebrachte Vorrichtungen ergab sich ihm, dafs der Dampf im Kessel keine Spur freier Elektricität zeigte, dafs diese nicht eher entwickelt wurde, als bis der Dampf in die Luft trat, dafs diese dann stets positiv war, während der Dampfkessel, sobald er isolirt wurde, negative Elektricität annahm, dafs die Elektricitätserregung sich der entwickelten Dampfmenge proportional zeigte, und [illegible] die Intensität der Elektricität mit der Spann[illegible]der Dä[illegible] wuchs, wo dann durch sie nicht nur

sondern auch Erschütterungen wie von einer Ladungsflasche erhalten wurden (s. Poggendorff's Annal. LII. S. 328). Pfaff, welcher dergleichen Versuche mit einem kleinen Papinianischen Topfe anstellte, bestätigt im Allgemeinen die Armstong'schen Erfahrungen, wobei er zugleich ganz gleiche Wirkungen erhielt, er mochte destillirtes, alkalisches oder gesäuertes Wasser anwenden. Seiner Meinung nach ist diese Elektricitätsentwickelung eine Folge des von den Dämpfen auf das Wasser ausgeübten Druckes, und er glaubt deshalb, dafs diese Elektricitätserscheinungen in die Kategorie der durch Druck hervorgebrachten (s. d. folgenden §.) gehören (s. Poggendorff's Annal. LIII. S. 313.); Armstrong dagegen, welcher anfänglich annahm, diese Elektricität entspringe aus der Condensirung der Wasserdämpfe, (s. philosoph. Magaz. Jan. 1842 S. 5. u. Dingler's polyt. Journ. LXXXIII. S. 271.) glaubt nun, nach den bis zu diesem Jahre (1843) fortgesetzten Versuchen sich überzeugt zu haben, dafs die Elektricitätserregung da stattfindet, wo der Dampf der Reibung ausgesetzt ist, indefs meint er doch, dafs die Reibung nicht die ausschliefsliche Ursache der Erregung sein möge. Insbesondere können seine Untersuchungen aber noch in so fern folgereich werden, da er in dem hochgespannten Wasserdampfe eine so aufserordentlich ergiebige Quelle der Spannungs Elektricität aufgefunden hat, dafs durch diese die Wirkung der befsten Elektrisirmaschinen vielfach übertroffen wird (s. philoph. Magz. Jan. 1843 S. 1. u. Dingler's polyt. Journ. LXXXVII. S. 459).

Armstrong beschreibt in jenem Aufsatze eine ganz neue Art Elektrisirmaschine, nämlich eine nach seinen Angaben ausgeführte Dampf-Elektrisirmaschine, die eine Bestätigung des Angegebenen liefert. Dieselbe besteht aus einem cylindrischen schmiedeeisernen Dampfkessel von 3½ Fufs Länge und 1½ Fufs Durchmesser, der an seinen Enden halbkugelförmig abgerundet und mit seinem die Feuerung enthaltenden

Gestell durch Glasfüfse isolirt ist. Als er den Dampf unter einem Drucke von 70 Pfd. auf den Quad. Zoll aus einigen eigens dazu construirten Hähnen ausströmen liefs, erhielt er vom Dampfkessel eine mehr als 7 Mal so starke Wirkung wie von einer vortrefflichen Elektrisirmaschine mit einer 3 Fufs im Durchmesser haltenden Scheibe, die er zur vergleichenden Messnng auf folgende Weise gebrauchte. Der Mafsstab für beide Elektrisirmaschinen war nämlich eine Lane'sche Flasche (§. 492, Fig. 297) von 198 Quadr. Zoll Beleg. Bei einer Entfernung ihrer Kugeln von $\frac{1}{4}$ Zoll und bei einer 70maligen Umdrehung der Scheibe in der Minute betrug in dieser Zeit die Anzahl der Entladungen dieses Elektrometers 29; wurde derselbe aber mit dem isolirten Dampfkessel verbunden, so fanden in der Minute 220 solcher Entladungen statt. Armstrong glaubt, dafs jeder einzelne Dampfstrahl, wie er aus den von ihm construirten Hähnen in die Luft übergeht, so viel Elektricität wie eine gute Elektrisirmaschine von gewöhnlicher Gröfse giebt, und dafs, da ein Dampfkessel von der Verdampfungskraft einer Locomotive fortwährend 100 solcher Strahlen zu geben im Stande ist, man sich eine Vorstellung von der ungeheuren Elektricitäts-Entwickelung machen könne, die durch Wirkung des Dampfes hervorzubringen ist.

§. 531.

Bei manchen Körpern und zwar vorzüglich bei krystallisirten sind ebenfalls elektrische Phänomene wahrgenommen worden, sobald im Innern solcher Körper plötzlich eine Trennung ihres Krystallgefüges eintritt. In dem Augenblicke, wo durch mechanische oder andere Mittel eine solche Aufhebung der Cohäsion erfolgt, zeigen sich bisweilen deutliche Lichterscheinungen, und die getrennten Körpertheile befinden sich dann im entgegengesetzt elektrischen Spannungszustande.

Folgende Beispiele mögen hierzu als Belege dienen.

Erster Versuch. Becquerel beobachtete nämlich, dafs, wenn man an einem Glimmerblättchen einen kleinen Spalt macht, dann an die so zur Trennung vorbereiteten Krystalltheile eine Siegellackstange befestigt und sie nun plötzlich auseinander reifst, an ihnen im Dunkeln ein Lichtschein sichtbar wird, und jedes der Blättchen nach erfolgter Trennung sich entgegengesetzt elektrisch zeigt. — Dasselbe tritt auch bei anderen krystallisirten Mineralien ein, sobald man mit ihnen

auf gleiche Art verfährt, wie z. B. bei'm Gyps, Kalkspath u. s. w. und auch bei einer Spielkarte, die schnell auseinander gerissen wird.

Zweiter Versuch. Dr. R. Böttger giebt folgende von ihm beobachtete Elektricitätserscheinung eines in den Krystallisationszustand durch Schmelzung übergegangenen Salzes an. — Mit dem Zuleiter eines empfindlichen Elektroskops bringt man mittels eines dazu schicklich gebogenen Drahtes ein kleines Platinschälchen oder einen solchen Tiegel in leitende Verbindung. Dieses Metallgefäfs dient zur Aufnahme von krystallisirtem schwefelsauren Kupferoxyd-Kali, welches mittels einer untergestellten einfachen Spirituslampe so lange erhitzt wird, bis es sein Krystallwasser verliert und hierauf völlig in glühenden Flufs übergeht. Entfernt man dann nach Eintritt dieses Zustandes die Lampe, so erfolgt innerhalb einiger Secunden schon die Krystallisation der ganzen Masse, jedoch ohne Spuren frei werdender Elektricität; hat aber die Masse bereits ein festes krystallinisches Gefüge angenommen, fängt sie unter hörbarem Knistern an, sich zusammenzuziehen und nach und nach von selbst zu zerreifsen, so zeigt dann das Elektroskop stets ganz entschieden frei werdende + Elektricität an, und zwar so oft, als durch die von selbst erfolgende Zusammenziehung der Krystallmasse Risse oder Sprünge in den einzelnen Krystallpartikeln entstehen. — In dem Mafse, wie sich nach und nach die Krystallmasse in Staub verwandelt, verschwinden auch die Elektricitätserscheinungen, jedoch läfst sich der erhaltene Salzstaub, so oft man will, wieder zu neuen Versuchen verwenden, wenn man ihn nämlich auf die oben beschriebene Weise durch Schmelzung flüssig macht. — Dr. Böttger betrachtet diesen Versuch als einen bestätigenden Beweis, dafs nicht sowohl im Momente der Bildung eines Krystalls Elektricität und Licht frei werden, sondern vielmehr nur dann, wenn ein bereits gebildeter Krystall einen anderen berührt, lädirt oder zerstört, und glaubt auch, dafs die glänzenden Lichterscheinungen, die man nach H. Rose's Beobachtungen beim langsamen Erkalten einer Lösung der glasartigen arsenigen Säure wahrnimmt, ihren Grund ebenfalls hierin haben mögen (s. R. Böttger, Beitr z. Phys. u. Chem. H. 2. S. 20).

Endlich gehören auch noch in diese Kategorie der Störungen des elektrischen Gleichgewichtes diejenigen elektrischen Phänomene, welche bei dem Aneinanderdrücken und nachher erfolgten Auseinanderreifsen zweier Körper zum Vorschein kommen. Hierbei ist nämlich zu vermu-

then, dafs die nach vorangegangenem Drucke eingetretene Trennung dieselbe Wirkung hervorbringt, wie bei den vorherbeschriebenen Erscheinungen die Aufhebung der Cohäsion; die getrennten Körper zeigen sich nämlich stets entgegengesetzt elektrisch, und zwar um so beträchtlicher, je stärker die zwischen ihnen eintretende Adhäsion wirkt. Aufserdem ist die Menge der hierdurch frei werdenden Elektricität auch noch abhängig von der Natur der zusammengedrückten Körper, von der Stärke des Drucks, der Leitfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der gedrückten Körper.

Becquerel hat durch vielfache Versuche nachgewiesen, dafs jeder Körper durch Druck elektrisch werde. Er bediente sich dabei folgenden Verfahrens. Aus den zu prüfenden Körpern wurden Scheibchen verfertigt und diese an isolirende Stiele von Siegellack oder Glas befestigt. Solche Scheibchen wurden dann gegenseitig an einander oder auch auf andere Körper gedrückt und nach einiger Zeit wieder schnell von einander getrennt. Die auf solche Weise in ihnen frei gewordene Elektricität läfst sich nachher an einem empfindlichen Elektroskop nachweisen. Becquerel stellte dergleichen Versuche mit Korkholz, Hollundermark, Kautschuk, Orangeschalen, Stärkemehl, Doppelspath, Gyps, Flufsspath, Schwerspath, mit mehren Metallen und selbst mit eingedickten Flüssigkeiten an (s. Marbach, phys. Lex. II. S. 109).

V. Elektricitäts-Erregung durch Wärme, Licht und Magnetismus.

§. 532.

In dem Vorangehenden lernten wir bereits mehre Verhältnisse kennen, in welchen die Wärme einen mittelbaren Einfluſs auf elektrische Thätigkeiten ausübt und durch letztere selbst auf eigenthümliche Weise erregt wird. Es ist die Wärme aber auch eine von den Ursachen, welche unmittelbar in vielen Körpern den elektrischen Gl
gewichtszustand stört, und zwar dann in i
einem Theile ihre Masse eine Ve

Erster Versuch. Man tauche einen solchen Krystall einige Minuten in kochendes Wasser. Faſst man ihn nun mittels einer Pincette in der Mitte an und nimmt ihn aus dem Wasser heraus, so zeigen sich seine Krystallenden an einem empfindlichen Elektroskop elektrisch, das eine positiv, das andere negativ.

Schon Aepinus kannte diese Eigenschaften am Turmalin, später fand man aber, daſs diese auch vielen anderen, selbst künstlichen Krystallen, zukommen. Physiker, die sich um die Erweiterung dieser Kenntnisse besonders verdient gemacht haben, sind Brewster, Hauy, Ermann, Becquerel, Forbes, Hankel und in neuester Zeit (1843) P. Riefs und G. Rose. Bei allen solchen Körpern ist aber der eintretende Spannungszustand nur von geringer Intensität, so daſs von dieser Elektricitätsquelle bis jetzt eine besondere Anwendung nicht gemacht wurde. (S. Marbach's phys. Lex. III. S. 262—267, Baumgartner's Zeitschr. IV. S. 356, Schweigger's Journ. XLIII. S. 87, Poggendorff's Annal. XIII. S. 623, XXV. S. 615, XXXIX. S. 285, XLIX. S. 493, L. S. 237, LIX. S. 553.)

In guten Elektricitätsleitern entsteht nur dann ein thermo-elektrischer Spannungszustand, wenn sie isolirt an einem Ende stark erhitzt werden. Letzteres wird dann positiv elektrisch, während das kalte negative Elektricität annimmt.

Durch folgenden Versuch läſst sich im Platin ein solcher elektrischer Zustand erzeugen.

Zweiter Versuch. Mit dem Deckel eines condensirenden Elektroskops bringt man einen Platindraht in Verbindung, dessen freies Ende in eine Spirale zusammengewunden wird. Erhitzt man nun dieses Spiralende bis zum Rothglühen, während die Basis des Condensators mit der Hand und die Spirale mit einem feuchten Papier ableitend berührt wird, so ladet sich der Condensatordeckel negativ, während die Spirale positive Elektricität annimmt. (S. Baumgartner's Zeitschr. X. S. 203.)

§. 534.

Wird ein guter Elektricitätsleiter, z. B. ein Metalldraht oder Metallstreif an einem Ende erhitzt oder abgekühlt, so entsteht in ihm ein thermo-elektrischer Strom, sobald die beiden verschieden warmen Enden mit einander in Berührung gebracht werden. Dasselbe tritt auch ein,

wenn man in einem geschlossenen Leiter an einer Stelle, bei welcher irgend eine Modification in der Masse des Körpers stattfindet, wie z. B. ein Unterschied in der Dicke, eine Verschiedenheit in der Härte u. dergl., eine Temperatur-Differenz hervorbringt. In beiden Fällen wird nämlich den durch die locale Einwirkung der Wärme getrennten ± Elektricitäten Gelegenheit gegeben, sich auf dem ihnen durch die Leitung gebotenen Wege wieder zu vereinen, eine Bedingung, die zur Entstehung jedes elektrischen Stromes vorhanden sein mufs. Wenn aber im Inneren eines solchen geschlossenen Leiters keine derartige Verschiedenheit, wie vorher angeführt wurde, stattfindet, d. h. wenn er auf seiner ganzen Ausdehnung vollkommen homogen ist, wie z. B. bei einem durchaus gleichen Metalldrahte, so bleibt die Entstehung eines elektrischen Stromes aus. Aus diesen und ähnlichen Umständen glaubt Becquerel den Schlufs ziehen zu können, dafs die Temperatur-Aenderung in einem solchen Körper nicht die alleinige Bedingung zur Entstehung von thermo-elektrischen Strömen sei, sondern dafs zugleich Ursachen vorhanden sein müssen, wodurch die Wärmeausgleichung, zu beiden Seiten der erhitzten oder erkälteten Stelle, nicht gleichmäfsig, sondern nach der einen Seite hin schneller als nach der anderen vor sich gehen kann.

Die Intensität dieser Ströme ist verschieden nach der Natur des Leiters, welcher dazu angewendet wird, und im Allgemeinen um so gröfser, je beträchtlicher die eingetretene Temperatur-Differenz war, nimmt aber in dem Mafse ab, wie sich diese wieder ausgleicht.

Hinsichtlich der Stärke, mit welcher die Metalle durch Temperatur-Ungleichheit elektrisch werden, ordnet sie Yelin in folgende Reihe, in welcher das erste das wirksamste,

Dritter Versuch. Auch solchen Metallen lassen sich thermoelektrische Ströme entlocken, wo an keiner Stelle ihrer Erstreckung eine gröfsere Massenanhäufung stattfindet und welche, was ihre chemische Beschaffenheit betrifft, auch homogen sind, wenn im Innern ihrer Masse eine moleculare Verschiedenheit stattfindet oder künstlich erzeugt wurde, wie dieſs besonders bei den ausgezeichnet krystallinischen Metallen Wismuth und Antimon eintritt, wenn diese ungleich erstarren, oder wie dieſs künstlich beim Eisen durch stellenweises Glühen und beim Stahl durch theilweises Härten herbeigeführt werden kann.

So wird ein Eisendraht, den man an einer Stelle bis zum Rothglühen erhitzt hatte, thermoelektrisch, wenn man ihn nach dem Erkalten nahe bei der ausgeglühten Stelle erhitzt, wie ein mit ihm verbundener Thermomultiplicator zu erkennen giebt, weil an der ausgeglühten Stelle eine Aenderung im inneren Gefüge eingetreten ist, durch welche die gleichmäfsige Fortleitung der Wärme nach beiden Seiten eine Störung erleidet.

Eben so wird auch ein hufeisenförmiges Stück Stahl, wovon ein Schenkel gehärtet, der andere weich gelassen ist, ebenfalls elektrisch, wenn man es in der Mitte seines Bogens erhitzt.

Vierter Versuch. Auch ohne Hilfe eines Multiplicators läfst sich der in einem homogenen Metalle eintretende thermoelektrische Strom mittels eines ganz einfachen von Yelin angegebenen Apparates nachweisen. Es besteht derselbe aus einem in ein Viereck *a b c d e* Fig. 336 zusammengebogenen Kupferstreif oder starken Kupferdraht, dessen metallische Schliefsung bei *e* durch Vernietung hergestellt ist. In der Mitte zwischen den beiden Längenstreifen balancirt auf einer Spitze eine schwach magnetisirte Abweichungsnadel *n s*. Wird nun das freie Ende *a* des Streifs durch die Flamme einer Spirituslampe erhitzt, so erfolgt die Wärmefortleitung von *a* nach *b*, *c*, *d*, *e*, und in derselben Richtung tritt auch, wie die Pfeile zeigen, die Strömung ein, was die nach Osten ausweichende Magnetnadel angiebt. Umwickelt man das freie Ende mit Fäden oder Bande von Baumwolle und tröpfelt Schwefeläther darauf, so bewirkt die durch die Verdunstung desselben entstehende Kälte eine Ablenkung der Nadel nach Westen, also die Entstehung eines Stromes in entgegengesetzter Richtung. Verstärkt wird die Wirkung, wenn man den Metallstreif bei *c* umwickelt und auf die angegebene Weise abkühlt, während man das freie Ende bei *a* zugleich erhitzt. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. S. 766—775.)

§. 535.

Weit stärkere thermoelektrische Ströme entstehen aber in solchen geschlossenen Kreisen, die aus heterogenen Metallen zusammengesetzt sind, wenn man eine der Stellen, wo zwei verschiedenartige Metalle zusammengelöthet sind, erhitzt oder erkältet. Dergleichen Zusammensetzungen bilden die sogenannten einfachen thermoelektrischen Ketten, welche auch ohne Multiplicator das Eintreten der Ströme an einer in dem Innern des Schliefsungskreises angebrachten Magnetnadel zu erkennen geben. Es waren diefs die ersten thermoelektrischen Ströme, die man kennen lernte und die von Seebeck 1821 entdeckt wurden.

Die Richtung des in einer solchen Kette auftretenden Stromes ist theils von der Natur der unter sich verbundenen Metalle, theils von dem Gangunterschiede der Wärme in denselben abhängig, d. h. die Richtung ist, wenn die Löthstellen erkaltet werden, gerade die entgegengesetzte von der, welche bei Erhitzung derselben eintritt. Bei den verschiedenen Combinationen, die man hierzu mit Metallen vornahm, ergab sich sehr bald, dafs diese in Bezug auf die Erregung von Elektricität durch die Wärme ein ähnliches Verhalten wie bei ihrem Contact unter einander zeigen, und dafs sie sich als Thermo-Elektromotoren, nach ihrer verschiedenen elektromotorischen Wirksamkeit, eben so in eine thermoelektrische Spannungsreihe ordnen lassen, wie diefs für die Berührungs-Elektricität oder den Voltaismus (§. 507) geschieht. Die von Seebeck angegebene Reihe ist folgende: — Wismuth, Nickel, Neusilber, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Messing, Gold, Quecksilber, Blei, Zinn, Chrom, Moly
Rhodium, Iridium, Silber, Z Wo
Cadmium, Stahl, Eisen, Arsen

timon (s. Poggendorff's Annal. VI. S. 17.), in welcher Wismuth das elektronegativste, Antimon das elektropositivste Glied ist, so dafs jedes Metall auch hier, ganz so wie in der Volta'schen Spannungsreihe, mit einem nach ihm folgenden verbunden, bei der Erhitzung negativ, mit einem vorangehenden aber positiv elektrisch wird, dafs das Entgegengesetzte aber eintritt, sobald sich seine Temperatur erniedrigt, und dafs bei derselben Temperaturdifferenz die Stromstärke um so gröfser ist, je weiter die Metalle in dieser Reihe von einander abstehen. Wismuth und Antimon, als die äufsersten Glieder dieser Spannungsreihe, geben daher die stärksten thermoelektrischen Ketten, bei welchen schon eine Einwirkung auf die Magnetnadel durch Berührung einer Löthstelle mit der blosen warmen Hand eintritt, sobald jene Stelle eine dem Eispunkte nahe Temperatur hatte. Messing, welches ziemlich in der Mitte dieser Reihe steht, giebt, mit Wismuth oder Antimon combinirt, eine Thermokette von mittlerer Stärke, und zwar bildet es in Verbindung mit Wismuth das elektropositive, in der mit Antimon das elektronegative Element. Zu Ketten, die einer hohen Temperatur ausgesetzt werden sollen, kann man Neusilber und Eisen oder Silber anwenden. Ferner hat sich auch noch ergeben, dafs bei manchen Thermoketten, innerhalb gewisser ziemlich weit von einander entfernter Temperaturgrenzen, die Stromstärke der Wärmedifferenz proportional bleibt, dafs diese Proportionalität bei anderen dagegen nur innerhalb sehr enger Grenzen oder gar nicht stattfindet (s. Poggendorff's Annal. XXXIX. S. 574, u. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. S. 781). Eine andere Uebereinstimmung, welche die thermoelektrische Reihe mit der Volta'schen zeigt, besteht darin, dafs bei solchen Ketten, die aus mehr als zwei heterogenen Metallen zusammengesetzt sind, die Stromstärke in

der angewendeten Combination stets der entspricht, welche bei einer Verbindung zwischen dem negativsten und positivsten Gliede derselben eingetreten sein würde. Noch mufs aber bemerkt werden, dafs diese Reihenfolge nur bei vollkommen chemischen reinen Metallen stattfindet und dafs, wenn diefs nicht der Fall ist, sich ihre Stelle in obiger Reihe wesentlich ändert. Man glaubt daher, auch hierin ein Mittel aufgefunden zu haben, die Metalle auf ihre Reinheit prüfen zu können.

Aufser den genannten Metallen können aber auch Combinationen von Erzen und anderen Elektricitätsleitern, wie Seebeck und Cumming beobachteten, thermoelektrische Ketten bilden, eine Thatsache, die besonders wichtig in Bezug auf die Schlufsfolgen ist, die man über das Verhandensein solcher Ströme in der Erdrinde gezogen hat, wovon der §. 538 das Nähere anführt.

Eine sehr zweckmäfsige Construction der einfachen thermoelektrischen Ketten stellt die Fig. 337 dar. *a b* ist ein etwa 4—5 Zoll langer, ½—¾ Zoll breiter und gegen 1—2 Linien starker Stab von Wismuth oder Antimon. Auf diesen wird ein eben so breiter, aber etwas kürzerer, an den Enden bei *c* und *d* rechtwinkelig umgebogener Kupfer- oder Messingstreif gelöthet, so dafs der Abstand beider paralleler Metallplatten etwa 1 Zoll beträgt. Die stärkste einfachste Kette erhält man, wie schon angeführt, wenn die beiden auf diese Weise verbundenen Metalle Antimon und Wismuth sind. Ueber der Mitte des unteren Metallstreifs befindet sich auf einer Spitze eine empfindliche Abweichungsnadel *n s*, unter der man noch eine eingetheilte Kreisscheibe anbringen kann.

Die Versuche, welche sich mit einer solchen Wismuth-Messing-, Antimon-Messing- und Antimon-Wismuth- Thermokette anstellen lassen, sind folgende:

Erster Versuch, mit der Wismuth-Messing-Kette. Zunächst giebt man dem Apparate eine solche Stellung, dafs sich die Längenseiten der Kette im magnetischen Meridiane befinden, mit der polaren Stellung der Magnetnadel also eine gleiche Lage haben. Wird nun die südliche Löthstelle bei *a* durch die Flamme einer darunter gehaltenen einfachen Spirituslampe etwas erhitzt, so beginnt der Nordpol der Magnetnadel

nach West auszuweichen, welche Ablenkung mit Steigerung der Erhitzung zunimmt. Hieraus ergiebt sich (nach §. 517), dafs der Strom in der Richtung von *b* nach *a*, also vom kalten zum warmen Ende eingetreten ist.

Zweiter Versuch, mit der Antimon-Messing-Kette. — Verfährt man bei dieser wie bei'm vorigen Versuche, so weicht der Nordpol der Nadel nach Osten aus, und es folgt daraus, dafs der eingetretene Strom seine Richtung von *a* nach *b*, also von der warmen zur kalten Stelle genommen hat.

Dritter Versuch, mit der Antimon-Wismuth-Kette. Es tritt hier dieselbe Ablenkung der Magnetnadel wie bei'm vorigen Versuche, nur weit beträchtlicher ein, sobald die Löthstelle bei *a* erwärmt wird.

Bei allen drei Thermoketten erfolgt die Ablenkung der Nadel nach der entgegengesetzten Seite, sobald man die Löthstelle *a* auf die schon im vierten Versuche des vorigen Paragraphen angeführte Weise abkühlt, und die Stromwirkung wird verdoppelt, wenn die Löthstelle *a* erhitzt, die von *b* aber erkältet wird. Uebrigens kann die Empfindlichkeit aller einfachen Thermoketten bedeutend erhöht werden, wenn man bei ihnen eine astatische Doppelnadel in der Art wie bei Fechner's Thermomultiplicator, Fig. 335, anwendet.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. S. 735—781, und Marbach's phys. Lex. II. S. 517— 522.)

§. 536.

Nach demselben Princip, wie man aus mehren einfachen hydroelektrischen Ketten zusammengesetzte oder Volta'sche Säulen bildet, kann man auch zusammengesetzte Thermoketten oder **thermoelektrische Säulen** construiren. Es werden nämlich die einfachen thermoelektrischen Ketten so zusammengefügt, dafs immer die beiden heterogenen Metalle je zweier auf einander folgender Glieder durch Löthung verbunden sind, so dafs sich die Thermosäule in ihren Polen gleichfalls mit den heterogenen Metallen endigt. Werden dann in einer solchen Säule gleichzeitig alle die auf der einen Seite liegenden Verbindungsstellen erwärmt, die auf der anderen Seite befindlichen aber erkältet, so dafs allemal auf eine warme Löthstelle eine kalte folgt, so zeigen dann die von den Polen ausgehenden Ströme

eine der Zahl der Glieder proportionale stärkere Intensität. Die Fig. 338, in welcher die starken Linien das eine, die schwachen das andere Metall vorstellen, kann als Schema einer solchen Zusammensetzung dienen, indem bei'm Gebrauche alsdann die Löthstellen *a* erwärmt, die *w* erkältet werden müssen, oder auch umgekehrt. — Uebrigens hat man die Thermosäulen nach ihrer besonderen Gebrauchsbestimmung, hinsichtlich ihrer Form, ihrer Dimensionen und der als Thermo-Elektromotoren in Anwendung kommenden Metalle sehr verschieden ausgeführt. Gewöhnlich werden dazu Wismuth und Antimon angewendet, und die daraus gebildeten Säulen sind die wirksamsten und empfindlichsten, können aber nicht für hohe Temperaturen angewendet werden, wo sie dann aus Platin und Eisen oder aus Neusilber und Eisen zusammenzusetzen sind. Die Metalle werden dazu gewöhnlich in der Form viereckig prismatischer Stäbe von einigen Zollen, auch wohl nur von 1 Zoll Länge, einigen Linien Dicke und Breite, oder auch so schwach angewendet, wie es gerade ihre Bearbeitung gestattet.

Die durch solche Thermosäulen erhaltenen verstärkten Ströme bringen auch dieselben Wirkungen, wie hydroelektrische hervor, d. h. man hat mit hinlänglich starken und vielgliederigen Säulen dieser Art ebenfalls elektrische Lichterscheinungen, Wärmeerregungen, physiologische und chemische Wirkungen erhalten, von welchen jedoch die beiden letzteren immer verhältnifsmäfsig schwach ausfielen, weil der bei solchen Wirkungen zu überwindende Leitungswiderstand schon so bedeutend ist, dafs selbst die durch vielgliederige Säulen zu erlangende Stromintensität doch nicht die der hydroelektrischen Ströme erreichen kann.

Munke beschreibt (Poggendorff's Annal. XLVII. S. 451) eine von ihm construirte Thermosäule der gröfseren Art, deren

Strom die meisten der vorerwähnten Wirkungen ganz unzweideutig hervorbrachte. Sie besteht aus 81 Paaren von 27 Linien langen, 5 Lin. breiten und 4 Lin. dicken Antimon- und Wismuth-Stangen. Die Stangenpaare sind in 9 Reihen, jede zu 9 Gliedern, vereint und geben mit ihren 8 metallischen Verbindungen auf jeder Fläche der Thermosäule 90 Löthstellen. Die unteren kommen in ein blechernes Gefäfs zu stehen, worin sich mit Eis und Schnee vermengtes Wasser befindet, während die oberen mit einer Kupferplatte bedeckt werden, auf die man glühende Kohlen legt. — Aufserdem findet man über die verschiedenartigen Wirkungen, die mehre Physiker durch solche thermoelektrische Ströme erhielten, nähere Angaben in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. S. 793—802, und in mehren Aufsätzen von Poggendorff's Annal. XIV. S. 161, XXVIII. S. 238, XLI. S. 161.

§. 537.

Von der Kenntnifs der thermoelektrischen Ströme hat sowohl die Theorie als auch die Praxis schon mehre nützliche Anwendungen gemacht. Unter diesen ist aber unstreitig die wichtigste und wenigstens bis jetzt am meisten gebrauchte die zur genauen Messung der Temperatur, und zwar in solchen Fällen, wo unsere bisher in Anwendung gekommenen Wärmemesser nicht empfindlich genug sind, oder bei so hohen und niederen Temperaturen, wo die Angaben der gebräuchlichen Pyrometer und Thermometer nicht mehr ganz zuverlässig bleiben, oder endlich auch zur Wärmeermittelung an Orten, wo unsere gewöhnlichen Wärmemesser nicht so leicht oder gar nicht hingebracht werden können. Als Mafs der Temperatur dient hierbei die Stärke des durch die Wärme in einer Thermokette erregten Stromes, dessen Intensität eben so, wie die der hydroelektrischen, aus der Ablenkung einer Magnetnadel bestimmt wird, so dafs man die hierzu eingerichteten Apparate als Magneto-Thermometer bezeichnen kann.

Der bei Weitem ausgedehnteste Gebrauch ist bis jetzt zur Bestimmung sehr geringer Temperatur-Differenzen gemacht worden. Die zu diesem Zwecke von Nobili con-

struirten magnetischen Differenzial-Thermometer bestehen aus Thermosäulen von Wismuth und Antimon, deren Pole mit einem empfindlichen Thermo-Multiplicator in leitender Verbindung stehen, und bei deren Gebrauch man auf die eine Hälfte der Löthstellen die zu prüfende Wärmequelle einwirken läfst, während die andere Hälfte auf einer möglichst niederen Temperatur erhalten wird. Die Empfindlichkeit solcher Apparate ist namentlich für strahlende Wärme so grofs, dafs sich nach Nobili's Beobachtungen und Vergleichungen aus der Ablenkung der Magnetnadel noch eine Temperatur-Differenz von $\frac{1}{1000}$° C. oder $\frac{1}{3000}$° R. bestimmen läfst. (S. Baumgartner's Zeitschr. n. F. I. S. 187). Durch solche zarte Mefswerkzeuge wurde es auch Melloni erst möglich, seine schönen und wichtigen Untersuchungen über das Verhalten der strahlenden Wärme mit gröfster Genauigkeit anzustellen und durch unzweifelhafte Versuche zu bestätigen (s. §. 389—394), so wie sich v. Wrede desselben Mittels bediente, um die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme zu ermitteln. (S. §. 386, S. 562.)

Die hierzu in neuerer Zeit von Nobili und Melloni construirten thermoelektrischen Säulen haben nach dem besonderen Zwecke ihrer Anwendung verschiedene Formen erhalten. Bei der einen, die Nobili *Pila a scatola* nennt, sind die geraden prismatischen Wismuth- und Antimonstäbchen so zusammengeordnet, dafs jede Hälfte der Löthstellen in einer Quadratfläche neben einander steht. Sämmtliche Paare sind von einer cylindrischen messingenen Büchse umschlossen, in welcher sie unter sich und von dieser durch Ausgiefsen mit Gyps, Wachs oder Harz isolirt sind. An der Aufsenfläche des Cylinders endigen die beiden Pole der Säule in zwei Schraubenklemmen, von wo aus sie mit dem Thermo-Multiplicator verbunden werden können. Beide Endflächen der Säule sind durch über den Cylinder passende Deckel verschliefsbar. Es dienen diese Säulen hauptsächlich zu Untersuchungen über Berührungs-Phänomene, weshalb ihre Löthstellen metallisch glänzend gelassen sind, und um ihre Empfindlichkeit zu erhöhen, wird der Deckel so eingerichtet, dafs man ihn mit Schnee füllen kann. — Die Fig. 339

Strom die meisten der vorerwähnten Wirkungen Messingbüchse, deutig hervorbrachte. Sie besteht aus 81 [illegible] ist, von welcher die langen, 5 Lin. breiten und 4 Lin. dicken [illegible] ist; *p* und *m* sind die Stangen. Die Stangenpaare sind [illegible] Schraubenklemmen, von dern, vereint und geben mit ih[illegible]ltiplicator gehen; *b* und *c* sind auf jeder Fläche der Therm[illegible]ließen der Büchse. Bei den zu kommen in ein blecher[illegible]ten Thermosäulen müssen sich die Eis und Schnee verm[illegible]anten oder Spitzen endigen, die, um ren mit einer Kupfer[illegible] zu vermehren, noch geschwärzt werden. Kohlen legt. — [illegible] entweder ebenfalls in einer Quadratfläche gen Wirkunge[illegible] sie bilden zur Untersuchung der Diffractrische Strö[illegible] eine einzige gerade Linie, die *Pila a pettine*, Wrtb. n[illegible] sternförmig in einer Kreisfläche zusammen- Pogge[illegible] sogenannte Strahlensäule, wie Fig. 340 zeigt, [illegible] Wärmestrahlen auf die inneren Löthstellen einwirken, welche Form hauptsächlich für die durch Convexlinsen concentrirten Wärmestrahlen die wirksamste ist. Bei allen diesen Säulen wird die Seite der Löthstellen, auf welche die Wärmestrahlen einwirken sollen, noch mit einem nach aufsen sich konisch oder parabolisch erweiternden Reflector, wie ihn Fig. 339 bei *c* zeigt, zum Auffangen der Wärmestrahlen versehen, während die andere Seite gegen ihre Einwirkung durch einen Deckel verschlossen werden mufs. (S. Dove's Rep. d. Phys. I. S. 355, Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 2te Abth. S. 998.)

Auf ähnliche Weise construirte thermoelektrische Differentialthermometer von ungemein grofser Empfindlichkeit findet man beschrieben in Poggendorff's Annal. LVI. S. 427 und LIX. S. 171.

Die erste Idee zur angeführten zweiten Art dieser Mefswerkzeuge, der magnetischen Pyrometer, ging von Becquerel aus. (S. Poggendorff's Annal. IX. S. 358.) Es bediente sich dieser Physiker hierzu einer Thermokette aus Kupfer und Eisen, die er mit einem Thermo-Multiplicator verband, der von ihm so regulirt war, dafs die Abweichungen der Magnetnadel genau in Werthen des elektrischen Stromes ausgedrückt werden konnten. Hat man dann für irgend eine höhere Temperatur der einen Löthstelle, die aber durch das hunderttheilige Thermometer noch mefsbar ist, während die beiden anderen auf der constanten Temperatur 0° erhalten werden, eine

thermo-elektrische Apparate gelungen ist, auch über die selbstständige innere Lebenswärme kaltblütiger Thiere und lebender Pflanzen bemerkenswerthe Aufschlüsse zu erhalten. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. II. Abth. S. 1005.)

Diese Anwendung der Thermoketten führte Peltier endlich auch noch zu der merkwürdigen Entdeckung, dafs ein hydroelektrischer Strom bei seinem Durchgange durch eine einfache Thermokette in ihrer Löthstelle so wohl Erwärmung, als auch Erkältung hervorbringen kann. Erwärmung tritt durch einen Strom ein, der gerade die entgegengesetzte Richtung wie der thermoelektrische hat, der bei Erwärmung dieser Verbindungsstelle entspringt, Erkältung dagegen durch einen solchen, der dem bei der Abkühlung der Löthstelle sich einstellenden entgegenfliefst. — Der geeignetste Apparat, diese durch einen hydroelektrischen Strom hervorgerufenen Temperaturdifferenzen nachzuweisen, ist Peltier's thermoelektrisches Kreuz, welches aus zwei Streifen verschiedener Metalle, z. B. Antimon und Wismuth, besteht, die in Form eines Kreuzes über einander gelegt und an ihrer Durchkreuzungsstelle zusammengelöthet sind. Zwei heterogene Metallenden eines solchen Kreuzes werden mit den Polen einer einfachen hydroelektrischen Kette verbunden, die beiden anderen mit einem Thermomultiplicator. So wie der Strom die Löthstelle durchfliefst, tritt auch eine Ablenkung der Nadel des Multiplicators ein, aus der sich dann ergiebt, ob an der Verbindungsstelle der Metalle Erwärmung oder Erkältung eintrat. Eben so kann man auch den Volta'schen Strom erst einige Minuten allein wirken lassen, ihn dann unterbrechen, und nun die beiden anderen Enden des Kreuzes mit dem Multiplicator verbinden; der Erfolg bleibt auch in diesem Falle derselbe. Besteht das Kreuz aus Antimon und Wismuth, so wird

die Löthstelle erwärmt, wenn der Strom von ersterem Metalle zu letzterem geht; erkältet wird sie dagegen, sobald er in der entgegengesetzten Richtung fliefst. Auch bei anderen thermoelektrischen Combinationen hat man mit jenen übereinstimmende Resultate erhalten, und zwar scheint es nach Allem, dafs Wärme dann eintritt, wenn der positive Strom von einem schlechteren zu einem besseren Leiter übergeht, Kälte aber, wenn das Gegentheil stattfindet. — Von Lenz ist an einer aus Antimon und Wismuth bestehenden Kette durch den Volta'schen Strom die Temperaturerniedrigung an der Löthstelle selbst bis zur Eisbildung gesteigert worden (s. Dove, Repert. d. Phys. I. S. 349. und Poggendorff's Annal. XLIV. S. 342).

§. 538.

Mittelbar kann auch das Licht eine Ursache zur Aufhebung des elektrischen Gleichgewichtes in Körpern werden, sobald diefs nämlich eine partielle Erwärmung vorzüglich an solchen Stellen hervorbringt, wo sich heterogene Körperstoffe begrenzen. Bei'm Sonnenlichte ist die Wirkung in Folge seiner wärmeerregenden Eigenschaften (§. 430) leicht erklärlich; besonders wichtig aber sind die Schlufsfolgen, die man in dieser Beziehung aus der fortschreitenden Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne zu ziehen sich berechtigt geglaubt hat. Da nämlich unsere Erdrinde als eine geschlossene Kette heterogener Körperstoffe betrachtet werden kann, und da zufolge der erlangten Kenntnisse über die Entstehung thermoelektrischer Ströme diese in der Regel mit der fortschreitenden Wärme gleichen Lauf haben, so glauben mehre der neueren Naturforscher (von denen vorzüglich Ampère zu nennen ist, weil er zuerst die folgende Ansicht aufstellte), annehmen zu können, dafs während der Axendrehung der Erde von West

nach Ost die solare Erwärmung ihrer Oberfläche in entgegengesetzter Richtung mit dem scheinbaren Laufe der Sonne, nämlich von Ost nach West, eintritt, darin auch zugleich das Dasein elektrischer Ströme begründet sei, welche ununterbrochen ihren Lauf gleichfalls in dieser Richtung, und zwar der Lage des Aequators und der Parallelkreise entsprechend, auf und in der Erdrinde haben.

Die Wichtigkeit dieser Hypothese veranlafste mehre Physiker, Untersuchungen über das wirkliche Vorhandensein solcher Ströme in der Erdrinde vorzunehmen. Fox stellte deshalb zuerst (1830) eine Reihe von Versuchen in den Gruben von Cornwall an, indem er je zwei entfernte Stellen der daselbst befindlichen Erzgänge mit den Drähten eines Multiplicators verband. In der That zeigte sich ihm dabei auch das Vorhandensein elektrischer Ströme verschiedener Stärke in der Erde, deren Richtung in einigen Fällen allerdings von Ost nach West, in anderen aber auch von West nach Ost, und wenn die Stationen in verschiedener Tiefe lagen in der Regel von oben nach unten gingen, welches Letztere in anderen Bergwerken auch Petherik und Bennets bestätigt fanden. (S. Poggendorff's Annal. XXII. 150.) Aehnliche Resultate erhielt auch Prof. Reich bei Versuchen, die derselbe (1838 und 1839) in den Gruben des Erzgebirges anstellte, indem er ebenfalls die Richtung der beobachteten Ströme unabhängig von den Weltgegenden und der Tiefe fand (s. Poggendorff's Annal. XLVIII. S. 287).

In der neuesten Zeit hat uns Edmund Becquerel noch mit einer anderen elektrischen Wirksamkeit des Lichtes bekannt gemacht. Aus einer Reihe sorgfältig und sinnreich angestellter Versuche hat nämlich jener Physiker gefunden, dafs die chemischen Strahlen (§. 363) sowohl des Sonnen- als des Lampenlichtes, auf Metallplatten, die in eine durch jene zersetzbare Flüssigkeit getaucht sind oder einen Ueberzug erhalten haben, auf den das Licht chemisch influirt, eine solche Wirkung ausüben, dafs daraus elektrische Effecte entspringen, die man nicht von der Wärme herleiten kann, und zwar dafs die solchen Strahlen exponirten Metallplatten positiv elektrisch werden. Spätere Versuche haben ihm auch gezeigt, dafs die chemische Lichtwirkung nicht die alleinige Erregungsursache dieser Ströme ist, sondern dafs die blofse Bestrahlung der Metalle bei diesem Phänomen einen wesentlichen Einfluſs ausübt. Dafs aber die Lichtwirkung an sich, auch ohne chemische Action, dieselbe Wirkung hervorbringen kann, dafür spricht folgender Versuch. Ein Gefäfs wurde durch eine ca- - Haut

in zwei Abtheilungen geschieden und jede mit einem undurchsichtigen Schirme bedeckt. Beide Abtheilungen füllte man dann mit derselben Flüssigkeit an und brachte in jede einen Platinstreif, deren Verbindung man durch einen Galvanometer vermittelte. Unter den gewöhnlichen Umständen konnte sich in diesem Apparate kein elektrischer Strom erzeugen; sobald aber der Schirm von der einen oder der anderen Abtheilung hinweggenommen wurde, so dafs Licht Zutritt zur Oberfläche des einen Platinstreifens erhielt, wich die Galvanometernadel sogleich sehr bedeutend von ihrer früheren Gleichgewichtslage ab (s. Poggendorff's Annal. LIV. S. 18. LV. S. 588. u. Berzelius, Jahrb. XX. S. 52).

§. 539.

Dafs die Wärme bei der Art der Elektricitätserregung, wie sie im Vorangehenden beschrieben wurde, das alleinige unmittelbare und zureichende Erregungsmittel ist und dafs dabei namentlich keine chemische Wirkung irgend einer Art in's Spiel kommt, ist nach den von Becquerel darüber angestellten Versuchen wohl nicht mehr in Zweifel zu ziehen (s. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 1ste Abth. S. 811. und Becquerel, Traité expérimental de l'Electricité etc. T. II. p. 48). Auf welche Weise oder durch welche Wirkungsart der Wärme die Störung des elektrischen Gleichgewichtes eigentlich hervorgebracht wird, darüber fehlt es bis jetzt noch an genügenden Aufschlüssen; so viel hat sich jedoch aus den gemachten Erfahrungen ergeben, dafs bei diesen elektrischen Erscheinungen die innere Textur der Körper, insbesondere ihr krystallinisches Gefüge, die wichtigste Rolle spielt, und dafs, wenn, wie schon früher erwähnt, als die primitive Ursache zur Entstehung elektrischer Wirkungen, Aenderung in den molecularen Verhältnissen eines Körpers nothwendig ist, eine solche bekanntlich auch durch die Wärme auf mehrfache Weise erzeugt wird.

Becquerel will gefunden haben, dafs die Ordnung der Metalle, nach welcher sie, in Berührung mit einander erwärmt,

positiv elektrisch werden, dieselbe ist, welche sie hinsichtlich ihres Wärmestrahlungsvermögens befolgen, und vermuthet deshalb, dafs die thermoelektrischen Eigenschaften der Körper möglicher Weise in einem directen Verhältnisse zu ihrem Wärmestrahlungsvermögen stehen. Ferner glaubt er, dafs, wenn die Wärme bei ihrer Bewegung und Fortpflanzung in Körpern Widerstand findet, sie sich in ihre beiden Factoren + Elektricität und — Elektricität trenne, dafs die + Elektricität Erfahrungen gemäfs ein gröfseres Vermögen als die — Elektricität besitze, widerstehende Mittel zu durchdringen, wodurch dann der (positive) elektrische Strom von den wärmeren nach den kälteren Stellen hingeleitet werde. Es nimmt derselbe aber auch an, dafs die Wärme nur die veranlassende Ursache der Störung des elektrischen Gleichgewichtes in Körpern werden könne, und zwar dadurch, dafs sie durch die Ausdehnung die kleinsten Körpertheilchen mehr von einander entferne und dann auf ähnliche Weise wirksam werde, wie bei der mechanischen Trennung von Körpern und Körpertheilchen (§. 531). Jedes stärker erwärmte Körpertheilchen soll nachher mehr + Elektricität anziehen, die — Elektricität aber nach allen Seiten forttreiben, und auf diese Weise erkläre sich sonach die Richtung der thermo-elektrischen Ströme, so wie ein Theilchen nach dem anderen in einem Körper erwärmt werde. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. 1ste Abth. S. 814, und Becquerel, Traité de l'Electricité etc. T. II. p. 48.) — Nobili, der ebenfalls seine theoretischen Ansichten hierüber aufgestellt hat, findet in der Wärme das gemeinschaftliche Princip für alle elektrischen Erscheinungen und ist der Meinung, dafs elektrische Ströme stets von den heifseren nach den kälteren Körpern gehen. Er hält ferner die elektrischen Ströme für Entladungen des Wärmestoffs nach der einen oder anderen Seite, und nur dann, glaubt er, bewirkten solche Ströme die Erscheinungen der Erhitzung und des Erglühens, wenn der Wärmestoff in grofsem Ueberschufs vorhanden ist, aufserdem aber entsprängen daraus die übrigen schon bekannten Wirkungen. Ferner sucht er die grofse Fortpflanzungsgeschwindigkeit daraus zu erklären, dafs er die elektrischen Ströme als eine Wellenbewegung ansieht, die, sobald eine Temperatur-Differenz eingetreten ist, nach der einen oder der anderen Seite fortschreitet. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. S. 815, und Schweigger's Journ. n. R. XXIII. S. 264.)

§. 540.

Ein ebenfalls wirksames Erregemittel der Elektri
welches als solches uns auch erst die neuere Zeit k

gelehrt hat, ist der Magnetismus. Auf eine eigenthümliche Weise wird nämlich durch die magnetische Polarität in Körpern der elektrische Neutralitätszustand aufgehoben, und sobald diese fähig sind, die Elektricität fortzuleiten, so treten dann in ihnen elektrische Ströme ein, die ihrer Natur nach ganz übereinstimmend mit denen anderen Ursprungs sind, hinsichtlich ihrer Dauer und Richtung aber besonderen Gesetzen folgen. Der Inbegriff sämmtlicher aus magnetischer Einwirkung entspringenden elektrischen Erscheinungen macht den besonderen Zweig der Physik aus, den man mit dem Namen Magneto-Elektricität belegt hat, und wovon noch im letzten Abschnitte besonders das Nähere abgehandelt wird.

V. Elektricitäts-Erscheinungen des atmosphärischen und des Lebens-Processes.

§. 541.

Die Luft- und Dunsthülle unserer Erde, die Atmosphäre, ist derjenige Theil dieses Planeten, in dem sich die durch mannigfache Ursachen und Processe frei gewordene Elektricität ansammelt, oder sie ist das grofse Reservoir des freien Elektrismus, während wir unseren Erdkörper mehr als das betrachten können, wo sich diese mächtige Potenz wieder sammelt und neutralisirt. Die Atmosphäre ist daher auch das Gebiet, innerhalb dessen diese sogenannte **Luft- oder atmosphärische Elektricität** ihre Thätigkeit durch manche grofsartige Phänomene zu erkennen giebt, deren Entstehen und Wirkungen man nach den in den vorigen Abschnitten gemachten Erfahrungen und aufgefundenen Gesetzen zu erklären versucht hat.

Von dem Vorhandensein freier Elektricität in der Atmosphäre kann man sich am einfachsten überzeugen, wenn man an einem mehre Fufse langen hölzernen Stabe, an

einer Art von Angelruthe, ein Stück Glasröhre befestigt, auf welcher ein zugespitzter Messing- oder Kupferdraht angebracht ist, den man jetzt mittels jenes Stabes als isolirten Elektricitäts-Sauger in die Luft emporhalten kann, und wobei die Zuleitung noch bedeutend gefördert und vergrößert wird, wenn man auf die Drahtspitze ein Stück glimmenden Zunderschwamm steckt. Steht nun jener Draht durch einen feinen Draht oder eine Metallschnur mit einem hinlänglich empfindlichen Elektrometer in Verbindung, so zeigt dieser die ihm aus der Luft zugeführte Elektricität an.

Mehre Vorrichtungen, durch die sich der elektrische Zustand der Atmosphäre prüfen und untersuchen läßt, findet man hinsichtlich ihrer Construction, ihres Gebrauchs und dessen, was dabei hauptsächlich zu beachten ist, beschrieben und abgebildet in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. I. Abth. S. 465, 514, und in Marbach's phys. Lex. III. S. 440, so wie einige Mittheilungen darüber in Dove's Repert. d. Phys. II. S. 87 enthalten sind.

§. 542.

Bei jedem Zustande der Atmosphäre und zu jeder Zeit findet man in ihr auch freie Elektricität, die aber sowohl nach ihrer Art als auch nach ihrer Intensität veränderlich ist. Nach den von mehren Physikern angestellten Untersuchungen der Luftelektricität haben sich folgende allgemeine Resultate ergeben. Bei heiterer und reiner Atmosphäre ist ihre Elektricität meist positiv, bei trübem und regnigem Wetter dagegen negativ. Ihre Stärke ist verschieden nach der Höhe der Luftschichten und veränderlich nach der Jahres- und Tageszeit, so wie auch danach, ob sich die Luft in bewegtem oder ruhigem Zustande befindet. In den höheren Luftschichten und im Winter, namentlich bei heiterem Frostwetter, zeigt sie sich stärker als in der Erdoberfläche und im Sommer, so wie auch

stille gröfser als bei bewegter Luft. Atmosphärische Niederschläge, als Regen, Schneegestöber u. dergl., zeigen sich bald positiv, bald negativ elektrisch, und nach Schübler's Beobachtungen soll dabei die Richtung des Windes hauptsächlich von Einfluſs sein. Am häufigsten sind die Niederschläge positiv bei Nordwinden, negativ elektrisch bei Südwinden, und zwischen beiden findet ein allmäliger Uebergang statt; immer aber ist der elektrische Zustand der Erde der entgegengesetzte von dem der Atmosphäre, und die beiden entgegengesetzten Elektricitäten müssen sich daher bis zu einem gewissen Abstand von der Erdoberfläche, der im freien Felde 3 bis 4 Fuſs beträgt, neutralisiren. Aufserdem hat man auch noch einen periodischen Intensitätswechsel wahrgenommen, indem nämlich täglich die Luft-Elektricität zweimal ein Maximum und ein Minimum erreicht. Während der Nacht ist die Intensität am schwächsten, mit Sonnenaufgang, bei'm Fallen des Thaues, wird sie stärker und erreicht einige Stunden danach ihr erstes Maximum; von da nimmt sie wieder ab, erreicht 1 bis 2 Stunden vor Sonnenuntergang abermals ein Minimum, steigt aber wieder schnell, wenn die Sonne sinkt, also wieder bei'm Eintritt der Thauzeit, und erreicht einige Stunden nachher ihr zweites Maximum.

Daſs in den höheren Luftregionen die freie Elektricität sich zu Zeiten bedeutend anhäufen muſs, dafür sprechen die zuerst von de Roma und vor einigen Jahren auch von Weckes und Henry angestellten Versuche mit dem sogenannten elektrischen Drachen. Die durch einen solchen Apparat aus der Luft zur Erdoberfläche geleitete Elektricität zeigte ungleich mächtigere Wirkungen, als man sie bis jetzt mit unseren stärksten Elektrisirmaschinen hervorgebracht hat. — Alle solche Versuche bleiben aber, namentlich während eines Gewitters, sehr gefährlich, wofür das Schicksal des Prof. Richmann zu Petersburg spricht, der durch einen in dem Leiter herabfahrenden Blitz (am 6. Aug. 1753) erschlagen wurde.

(S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. S. 583, Marbach's phys. Lex. I. S. 617, und Dove's Repert. d. Phys. VI. S. 279.)

§. 543.

Die in der Atmosphäre vorhandene freie Elektricität verdankt ihren Ursprung jedenfalls mehren Ursachen, aber ungeachtet der von einigen ausgezeichneten Physikern darüber angestellten Untersuchungen ist es bis jetzt doch noch nicht gelungen, eine ganz befriedigende Erklärung darüber zu geben. Als wahrscheinliche Ursachen ihrer Entstehung betrachtet man die Reibung der Lufttheilchen an einander, die Berührung ungleich warmer Luftschichten, den Verbrennungs- und Vegetations-Proceſs, die Dunstbildung und die in der Atmosphäre vor sich gehende Condensirung ihres Wassergases. Da nämlich der Erfahrung zufolge bei Körpern, die sich an einander reiben, der wärmer werdende negativ, der kältere aber positiv elektrisch wird (§. 486, S. 778), und weil die Wärme der Luftschichten mit der Höhe der Atmosphäre abnimmt, so suchen einige Physiker hierin den Grund, warum sich jene mit der Zunahme ihrer Höhe immer positiver elektrisch zeigen. Pouillet dagegen hält den auf der Erde ununterbrochen thätigen Verbrennungs-, Verdunstungs- und Vegetations-Proceſs für die Hauptquelle der Luftelektricität, was er aus seinen darüber angestellten Versuchen nachzuweisen gesucht hat. (Vergl. §. 529, S. 964, §. 530 u. 549, so wie Pouillet's Lehrb. d. Phys. I. S. 518.) Die Richtigkeit dieser Annahmen, die aber durch die später von Pfaff angestellten Gegenversuche schwankend geworden ist, bedarf deshalb jedenfalls zur Bestätigung einer nochmaligen sorgfältigen Prüfung. Daſs jedoch die Aggregatumwandlung des Wassergases bei der Luftelektricität wahrscheinlich eine Hauptrolle spiele, dafür sprechen die bei den verschiedenen atmosphärischen Niederschlägen sehr bemerkbar auftretenden Anzeigen von freier Elektricität, und Clarke hat es auch versucht, [illegible] sammenhang der Schwankungen der Dunstmenge [illegible]

der Luftelektricität nachzuweisen. — Jedenfalls ist aber wohl anzunehmen, dafs mehre der angeführten Umstände und vielleicht auch noch andere, die man bis jetzt als solche noch nicht erkannt hat, dazu beitragen, die Atmosphäre in einen positiven, die Erdoberfläche in einen negativ elektrischen Zustand zu versetzen, und da die Luft zu den schlechtesten Leitern der Elektricität gehört, so vergleicht Kämtz die Atmosphäre mit einer grofsen elektrischen Batterie, deren negatives Belege die Erdoberfläche, das positive aber die oberen Luftschichten abgeben. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI. S. 465, und Marbach's phys. Lex III. S. 430—442.)

§. 544.

Die vorzüglichsten Phänomene, deren Ursprung wir der in der Atmosphäre sich anhäufenden freien Elektricität und ihrer erfolgenden Neutralisation zuzuschreiben haben, die sogenannten **Elektrometeore**, sind die **Gewitter**, das **Wetterleuchten**, das **Elmsfeuer**, das **Nordlicht**, die **Wasserhosen** und die **Erdtromben**.

Die bekannteste und grofsartigste der genannten Erscheinungen ist das Gewitter, wobei aufser **Blitz** und **Donner** als gewöhnlicher Begleiter auch noch Stürme, Regen und Hagel eintreten.

Die Entstehung der Gewitter hat man sich zunächst aus der ihnen stets vorangehenden Wolkenbildung zu erklären. Bekanntlich treten jene am häufigsten in der heifseren Jahreszeit und in den wärmeren Klimaten der Erde ein, weil dann der thermische Zustand der Atmosphäre ein solcher ist, wo diese das meiste Wassergas aufzunehmen fähig ist. Erleidet nun eine solche damit gesättigte Luftschicht durch irgend eine Ursache eine auch nur geringe Abkühlung, so ist die Bedingung vorhanden, bei welcher

die Aggregat-Umwandlung des Wassergases zu Dunstbläschen und Nebel oder Wolken beginnen kann, und die unter diesen Umständen auch weit schneller und reichlicher erfolgen mufs, als wenn eine kältere und dann mit weniger dichtem Wassergas gesättigte Luft um eben so viele Grade erkaltet. Die hierdurch eingeleitete Condensation hebt jedenfalls zunächst den im Wassergas vorhandenen elektrischen Neutralitäts-Zustand auf, und die + Elektricität sammelt sich auf der leitenden Oberfläche der entstehenden Dunstbläschen an. In dem Grade aber, wie diese Nebelbildung fortschreitet, verdichten sich auch die Wolken, die Dunstbläschen kommen in Berührungsnähe, und alle ihre freie Elektricität wird nach der meist scharf begrenzten Oberfläche getrieben, wodurch auch die Spannkraft der sich auf ihr verbreitenden Elektricität eben so, wie bei einem elektrischen und isolirten Leiter zunehmen mufs (§. 487). Solche Wolken kann man sich daher gleichsam als grofse, in der Luft schwimmende, durch diese aber isolirte Leiter vorstellen, die sich dann gegen andere in ihrer Nähe befindliche oder in diese kommende Körper dem polaren Attractions- und Vertheilungsgesetze entsprechend (§. 480, 483, 388) wirksam zeigen müssen. Hierdurch sucht man sich auch die Entstehung der negativ geladenen Wolken auf folgende Weise zu erklären. Man nimmt nämlich an, dafs die in den höheren Luftregionen schwebenden positiv elektrischen Wolken durch ihre vertheilenden Wirkungen in anderen der Erde näheren die — Elektricität anziehen, während dann die in diesen abgestofsene + Elektricität Gelegenheit findet, nach von der Oberfläche der Erde hervorragenden Gegenständen, als Bäumen, Bergen u. dergl., überzuströmen.

Die auf die angeführte Weise mit Elektricität geladenen Gewitterwolken haben nun, wie alle elektrischen Kö

das Bestreben, sich mit ihrem Gegensatze zu sättigen oder zu neutralisiren. Dieſs geschieht entweder zwischen den entgegengesetzt elektrischen Wolken oder zwischen diesen und der Erdoberfläche. Im ersteren Falle entsteht dann gewöhnlich ein gegenseitiges Anziehen der Wolken, woraus sich zugleich ihre oft stattfindende entgegengesetzte Bewegung und eintretende Formänderung erklären läſst. Erfolgt die Elektricitäts-Ausgleichung plötzlich, so wird die zwischen den entgegengesetzt elektrischen Körpern befindliche Luftschicht von einem starken elektrischen Funken, dem Blitze, durchbrochen, dessen Weg, wahrscheinlich in Folge des Widerstandes der durch ihn verdichteten Luft, gewöhnlich zackig ist, welche Gestalt die längeren Funken einer Elektrisirmaschine im Kleinen ebenfalls zeigen. Oft folgen auch mehre Blitze schnell auf einander, eine Erscheinung, die darin ihre Erklärung findet, daſs sich die Gewitterwolken zufolge ihrer verhältniſsmäſsig geringen Leitfähigkeit mit einem Male nicht völlig entladen, sondern daſs sich auf ähnliche Weise, wie bei einer entladenen Batterie, das Residuum der freien Elektricität wieder auf ihrer Oberfläche sammelt und dadurch zu erneuten Entladungen Veranlassung giebt.

Mit dem Blitze zugleich entsteht der Donner, ein aus der plötzlichen Zerreiſsung und Erschütterung der Luft durch den Blitzstrahl entspringender Schall, dem ähnlich, wie man ihn in verjüngtem Maſsstabe bei'm Entladen einer Batterie wahrnimmt. In der Nähe seiner Entstehung gewahrt man nur einen heftigen Knall von kurzer Dauer, der aber mit zunehmender Entfernung in das eigenthümliche ab- und zunehmende Rollen und Verhallen des Donners übergeht, welches man aus verschiedenen Ursachen abzuleiten sucht. Am wahrscheinlichsten ist es, daſs der oft meilenlange Weg, den der Blitz durch die

feuchten Luftschichten, die ihm als Leiter dienen, zurücklegt und auf welchem er die Luft zu wiederholten Malen zusammenpreßt und erschüttert, so wie zufolge der verschiedenen Entfernungen, die der entstandene Schall bis zu unserem Ohre zu durchlaufen hat, das Rollen des Donners hervorbringt, und daß dabei auch zugleich die Zurückwerfung der Schallwellen vom Erdboden, von der Meeresfläche und selbst von den Wolken, vielleicht durch Interferenz, wie Kämtz vermuthet, wesentlich daran Antheil hat und zur Verstärkung beiträgt. Durch diese verschiedenen Umstände wird der ursprünglich entstandene Schall mannigfach modificirt, und es klingt daher der Donner anders in ebenen Gegenden, anders im Gebirge, anders auf dem Meere, und an jedem Standpuncte hört man denselben Donner überhaupt auf andere Weise. Aus der Zeit, welche zwischen der Entstehung des Blitzes und dem Hören des Donners verstreicht, läßt sich auch nach der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles (§. 262 S. 354) die Entfernung der Gewitterwolke, welche sich entlud, annähernd berechnen.

Auf Gegenstände der Erde erfolgen die elektrischen Entladungen der Wolken um so leichter, je mehr diese durch die gut leitende Beschaffenheit ihrer Materie und durch eine gute Verbindung mit dem Erdboden, besonders aber durch ihre Höhe und Gestalt, nämlich durch Ecken und Spitzen, die vertheilende Wirkung der Gewitterwolke begünstigen und den Durchbruch des Blitzstahles erleichtern. Daher schlägt auch der Blitz am häufigsten in hohe Häuser, Thürme, Bäume, Schiffsmasten u. dergl.

Die Wirkungen, die der Blitz auf dem Wege, den er durch den Körper nimmt, hervorbringt, sind hauptsächlich von der Leitfähigkeit derselben abhängig und zeigen sich überhaupt denen ähnlich, wie man sie von den ver-

stärkten Funken einer elektrischen Batterie erhält, nur in einem ungleich gröfseren Mafsstabe. So verfolgt er von der Stelle an, wo er einen Gegenstand getroffen hat, immer die befste Leitung, indem er nicht etwa den kürzesten, sondern denjenigen Weg wählt, auf dem er die befsten und am innigsten verbundenen Leiter findet, und auf welchem er mit Ueberwindung des geringsten Widerstandes zu seinem Ziele, d. h. zu seiner Neutralirung mit der entgegengesetzten Elektricität des Erdbodens gelangt. Sobald er dieses Ziel erreicht, hören alle seine Wirkungen auf. Sind die Leiter, über welche der Blitz herabfährt, seiner Intensität gewachsen, d. h. setzen sie ihm, wie diefs z. B. bei hinlänglich starken Metallstangen der Fall ist, nur einen unbedeutenden Widerstand entgegen, so geht auch die Entladung ohne wesentlich bemerkbare Wirkungsäufserung vorüber. Ist diefs aber nicht der Fall, trifft er auf schlechte Leiter oder auf Leiter von zu geringer Capacität, oder auf solche, die Unterbrechungen haben, welche er überspringen oder durchbrechen mufs, so äufsert er dann die verschiedenartigsten Wirkungen. Er schmilzt oder verkalkt z. B. zu schwache Metalldrähte, an welchen er fortgeht, entzündet leicht Feuer fangende Stoffe, verglast erdige, besonders sandige Körper (a), zertrümmert und zersplittert feste, unvollkommen leitende Körper und verletzt oder tödtet Menschen und Thiere (b). — Auch ohne Entladung der Elektricität einer Gewitterwolke entsteht bisweilen ein Blitz, der gewissermafsen von der Erde ausgeht und den man einen Rückschlag zu nennen pflegt. Man erklärt dessen Entstehung daraus, dafs, wenn eine nahe über irdischen Gegenständen befindliche Gewitterwolke in diesen durch Induction die entgegengesetzte Elektricität beträchtlich angehäuft hat und sich plötzlich gegen eine höhere Wolke entladet, dann durch den schnellen Rücktritt der letzteren das

genannte Phänomen erscheint. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. S. 981—1032, II. S. 562—578, Marbach's phys. Lex. I. S. 294, 613, Dove's Repert. d. Phys. II. S. 89, 90, IV. S. 267—272, VI. S. 278, 281.)

a) Der verglasenden Wirkung des Blitzstrahls verdanken die sogenannten Blitzröhren (Fulguriten oder Blitzsinter) ihre Entstehung, deren elektrischen Ursprung man lange in Zweifel zog, bis ihn Beudant in Verbindung mit einigen anderen französischen Naturforschern künstlich durch Hilfe einer elektrischen Batterie nachwies. (S. Poggendorff's Annal. XIII. S. 117.) Sie erzeugen sich nämlich da, wo der Blitz in sandigen Boden schlägt und auf seinem Wege in diesem die Kieselerde selbst bis zu Tiefen von 20 Fufs schmilzt, wodurch dann geästelte, im Innern verglaste Röhren entstehen. (S. Gilbert's Annal. LV. S. 121, LXI. S. 235, LXVIII. S. 209, LXXI. S. 301, LXXIV. S. 213, Ribbentrop, über Blitzröhren 1830, Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. S. 1093, und Marbach's phys. Lex. I. S. 325.)

Fast alle Blitzröhren, welche man bis zu einer gröfseren Tiefe verfolgt hat, gingen zuletzt auf Wasseransammlungen, so also, dafs, wenn man den Blitz mit einem elektrischen Funken vergleicht, die Wolke als Conductor, die Wasseransammlung als Entlader und das über derselben befindliche Sandlager als zwischenliegender Körper zu betrachten ist, der von dem überspringenden Funken durchbohrt wird.

b) Am 2. Juni 1839 Morgens schlug auf dem Wege von Mezières nach Weifsenburg zwischen Mouzon und Stenay der Blitz in ein Bataillon französische Infanterie. 200 Mann wurden zu Boden geworfen und erhoben sich erst dann wieder, nachdem sie aus Mund, Nase und Ohren Blut von sich gegeben, und zwei Mann blieben todt auf dem Platze. (S. allgem. Milit. Zeitg. 1839 S. 413.)

Die Vorsichtsmafsregeln, um sich vor dem Blitze zu schützen, ergeben sich von selbst aus dem vorher Angeführten nach den Gesetzen der Wirkung der Maschinen-Elektricität. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, dafs man die Nähe guter Leiter möglichst meide. Deshalb soll man sich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchste Gegenstand der Umgebung zu sein suchen, keine zu starke Bewegung machen, damit die Ausdünstung nicht zu sehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häusern gehen, sondern lieber die Mitte der Strafse verfolgen, sich in Zimmern von Fenstergittern, Glockenzügen, ja sogar von den Wänden entfernen, also mehr in der Mitte des Ge-

machs verbleiben, die Nähe rauchender Schornsteine meiden, möglichst dunstfreie Orte suchen u. s. w.

Zu den allerdings noch nicht genüglich erklärbaren Lufterscheinungen, welche häufig zugleich mit Gewittern auftreten, und wo man geneigt ist, die Luftelektricität als eine dabei wenigstens mitwirkende Ursache zu betrachten, gehören die Wasserhosen und Landtromben, so wie der Hagel.

Die Wasserhosen und Landtromben erscheinen als aus den Wolken herabhängende trichterförmige Schläuche von Dunstbläschen oder Wolkenmasse, welche sich in einer aufserordentlich schnellen schraubenförmigen und fortschreitenden Bewegung befinden, während aus ihrem Inneren oft Lichtblitze zum Vorschein kommen. Entstehen dieselben über dem Meere, die eigentlichen Wasserhosen, so wird das unter ihnen befindliche Wasser in eine eben solche wirbelnde Bewegung versetzt und dabei zugleich nach der Wasserhose emporgezogen; erscheinen sie aber über dem Festlande, wo sie dann Landtromben heifsen, so werden auf ähnliche Weise von ihnen Staub, Sand und andere Körper emporgehoben. Die Gewalt, mit der diese Bewegung erfolgt, ist unglaublich grofs, indem durch sie die Masten der Schiffe zerbrochen, diese selbst herumgeschleudert, ja sogar emporgehoben werden, so wie Bäume, selbst Häuser, ihrer zerstörenden Kraft zu widerstehen nicht vermögen. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. X. S. 1635—1723, Marbach's phys. Lex. IV. S. 894, Dove's Repert. d. Phys. VI. S. 282—287.)

Bei'm Hagel, der sich bekanntlich ebenfalls in der Atmosphäre bildet und bisweilen selbst als faustgrofse Eisklumpen aus dieser herabfällt, besteht das schwer zu lösende Problem hauptsächlich darin, die Ursache aufzufinden, woraus sich die Bildung oft so vieler tausend Centner

Eis und ihr Schweben in der Luft erklären läfst. (S. Gehler's phys. Wrtb. n. A. V. S. 30—94, und Marbach's phys. Lex. III. S. 9.)

§. 545.

Nachdem Nollet und Winkler zu fast gleicher Zeit (gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts) die elektrische Natur des Blitzes erkannt hatten, wurde Franklin (1753) auf den Gedanken geführt, unter Vermittelung guter Elektricitätsleiter dem Blitze eine Bahn anzuweisen, auf der er ohne irgend nachtheilige Folgen zur Erde gelangen könne. Diese unter dem Namen Blitz- oder Wetterableiter bekannten Schutzapparate, durch welche man Gebäude, hauptsächlich solche, welche leicht entzündliche Körper enthalten, und eben so auch Schiffe gegen die schädlichen Wirkungen des Blitzes zu sichern sucht, bestehen aus metallenen, gewöhnlich in eine Spitze auslaufenden Stangen von erforderlicher Dicke, die an den Gebäuden so angebracht werden, dafs sie noch über die höchsten Theile derselben hervorragen, und mittels einer ebenfalls metallischen hinreichend starken nirgends unterbrochenen Fortleitung mit der Erde in Verbindung stehen. Die bei der Anlage eines jeden Blitzableiters zu lösende Aufgabe besteht überhaupt darin, dafs, wenn auch die Entladung einer Gewitterwolke durch ihn erfolgt, er allein den Blitzstrahl zur Erde ableite, ohne dafs das Gebäude oder andere in diesem befindliche Gegenstände an dieser elektrischen Ausgleichung irgend einen Antheil nehmen.

Seit der Erfindung dieses höchst nützlichen Apparates sind mannigfache Veränderungen und Verbesserungen desselben vorgenommen worden, so wie man auch bemüht war, einen Mafsstab seiner schützenden Wirksamkeit aufzufinden. Gegenwärtig befolgt man bei der Anlage von Blitzableitern gewöhnlich Folgendes: die eisernen, unten gegen 2 Zoll starken Auffangstangen läfst man wenigstens 5 bis 6 Fufs über die höchsten Stellen der

zu schützenden Gegenstände emporragen, und armirt ihr Ende mit einer kupfernen gewöhnlich vergoldeten abgestumpften Spitze. Meist wird dabei angenommen, dafs eine solche Auffangstange auf eine Entfernung von 30 Fufs ringsum wirksam sei und dafs mithin bei mehren Auffangstangen diese nicht weiter als 60 Fufs von einander abstehen dürfen; nach den Erfahrungen von Charles aber soll ein Ableiter die um ihn befindlichen Gegenstände in keiner gröfseren Entfernung schützen, als die doppelte Höhe desselben über ihnen beträgt. Die von den Auffangstangen ohne Unterbrechung bis zur Erde fortlaufende metallische Leitung besteht gewöhnlich aus schwächeren, etwa ½ Zoll starken eisernen Stangen, statt deren aber auch Streifen von anderen Metallen, selbst Drahtseile, benutzt worden sind. Welche Art der Leitung übrigens gewählt werden mag, so ist es stets nöthig, sie nicht blos von den Auffangstangen hinab, sondern bei Gebäuden über den ganzen Dachrücken hinweg zu führen und dabei hauptsächlich Sorge zu tragen, dafs bei der Zusammensetzung der einzelnen Stücke der Leitung eine rein metallische Verbindung stattfinde; ferner ist es räthlich, derselben immer einigen Abstand vom Dache und der Mauer zu geben, sie auch nicht durch leicht entzündliche Körper zu führen, eben so auch von Metallen, die in die Gebäude hineinreichen, wie z. B. von Glockenzügen, entfernt zu halten, dagegen aufsen am Gebäude vorhandene Metallflächen, wie dergleichen Dachbedeckungen, Wasserrinnen u. s. w. mit der Fortleitung in Verbindung zu setzen. Das Ende dieser Fortleitungen mufs endlich auf Stellen hingeführt werden, wo der Boden ein guter Elektricitätsleiter ist, am befsten in ein freies Wasser. Ist dieses nicht möglich, so führt man sie wenigstens nach dem feuchtesten Orte in der Nähe des Gebäudes einige Fufs unter die Bodenfläche, wo man dann die Ableitstange, welche in drei bis vier zugespitzten Enden auslaufen mufs, eine Strecke von dem Gebäude wegführt. — Pulvermagazine, Pulverthürme, Laboratorien und andere leicht Feuer fangende Stoffe enthaltende Gebäude sind mit besonderer Vorsicht gegen das Einschlagen des Blitzes zu schützen. Man stellt deswegen, um den Blitz aufser aller Verbindung mit dem Gebäude zu bringen, hohe, dasselbe überragende Mastbäume in einer Entfernung von 6—10 Fufs von jenem auf und versieht diese mit Blitzableitern, deren Auffangspitzen, nach den oben angeführten Erfahrungen von Charles das Gebäude um den vierten Theil ihrer gröfsten Entfernung von einander zu überragen haben. Aufserdem müssen aber solche Aufbewahrungsorte so gebaut sein, dafs sie so wenig als möglich vorragende Theile haben, und dafs am wenigsten grofse Metallmassen äufserlich an ihnen angebracht sind.

Die Erscheinungen des Blitzstrahles, so wie auch die verschiedenartigen Wirkungen desselben lassen sich durch Hilfe der Maschinen-Elektricität mittels eines bekannten Apparates, dem man den Namen Donnerhaus gegeben hat, ziemlich gut versinnlichen, und damit zugleich der Nutzen und Zweck der Blitzableiter, so wie überhaupt die Identität mit der grofsartigen Naturerscheinung darthun. — Eine Beschreibung dieses Apparates und der damit anzustellenden Versuche findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. II. S. 578, und in Marbach's phys. Lex. I. S. 325.

Der von einer Commission der Academie der Wissenschaften in Paris im Jahr 1823 verfafste Bericht über Anlage von Blitzableitern, sowohl in theoretischer als praktischer Beziehung, ist in Gilbert's Annal. LXXVII. S. 403, und ein ausführlicher Artikel darüber in Gehler's phys. Wrtb. n. A. I. S. 1035 enthalten.

§. 546.

Eine ebenfalls bekannte elektrische Lichterscheinung ist das Wetterleuchten. Am häufigsten zeigt sich dasselbe bei heifsen Sommerabenden an der Grenze des Horizontes und besteht in einem schnell vorübergehenden, sich oft wiederholenden blitzähnlichen Lichtschimmer in dem Gewölke. Dabei vernimmt man kein donnerähnliches Geräusch, und oft erscheint dieses Leuchten zugleich in den verschiedensten Gegenden des Horizontes, wobei es sich zugleich über bedeutende Strecken hin verbreitet. In manchen Fällen, wie durch Beobachtungen ziemlich aufser Zweifel gestellt ist, rührt es von Blitzen her, die unter dem Horizonte stehenden Gewittern angehören, in anderen aber ist es, nach Schübler's Meinung, eine unabhängig vom Gewitter entstehende elektrische Lichterscheinung, die durch Ausströmung stark angehäufter Elektricität ohne elektrischen Gegensatz benachbarter Wolkenschichten, ungefähr auf ähnliche Weise wie bei dem Versuche mit der sogenannten Blitztafel (§. 498; S. 830), veranlafst wird.

Ansichten, der dasselbe während seines Aufenthaltes auf Island oft zu beobachten Gelegenheit fand, sind die Polarlichter elektrische Entladungen in den feinen Federwolken an derjenigen Grenze des Nordens, wo Gewitter nicht mehr stattfinden; auch hat man das Geräusch, welches als begleitende Erscheinung oft erwähnt wird, auf elektrische Entladungen bezogen.

Ausführlichere Zusammenstellungen der verschiedenen Einzelheiten, die sich auf dieses Phänomen beziehen, findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. VII. S. 113—268, und Kämtz's Meteorologie III. S. 447—468; aufserdem enthält mehres darauf Bezügliche Fechner's Repert. d. Exper. Phys. III. S. 116, 124, und Marbach's phys. Lex. I. S. 23, IV. S. 51.

§. 549.

Aus Versuchen, die von mehren Physikern, hauptsächlich in neuerer Zeit, unter Vermittelung der für elektrische Ströme so äufserst empfindlichen Magnetnadel angestellt wurden, glaubt man annehmen zu können, dafs in thierischen Körpern sowohl zwischen Nerven und Muskeln, als auch an der Oberfläche der thierischen Häute und in heterogenen Organen überhaupt, während der Functionen des Lebens eine ununterbrochene Elektricitäts-Erregung stattfindet. Die eigentliche Ursache für die Elektricitätsquelle ist aber bis jetzt gleichfalls noch unbekannt; einige Naturforscher glauben, sie sei eine Wirkung der organischen Thätigkeit des Lebens im Allgemeinen, andere erkennen als Quell dafür eine durch den Contact oder durch die chemische Verschiedenartigkeit in den Nerven und Muskeln hervorgerufene elektrische Spannung der in dem Organismus im ruhenden Zustande vorhandenen Elektricität, noch andere endlich identificiren Elektricität und Nervenkraft.

Bald nach Galvani's wichtiger Entdeckung, durch welche man, wie bereits angeführt wurde, eine eigenthümliche thierische

Elektricität aufgefunden zu haben wähnte, fanden Alexander v. Humboldt, Pfaff und andere Physiker, dafs, wenn man an einem Froschpräparate, wie es zu Galvani's Fundamental-Versuche (§. 520, S. 913) gebraucht wird, den Rückgratnerv und Schenkelmuskel entweder in unmittelbare Berührung bringt, oder sie mit einem isolirten Stück Muskelfleisch verbindet, in diesem ebenfalls Zuckungen, wie bei'm Contact mit heterogenen Metallen, eintreten. Eben so hat man auch an lebenden Körpern Anzeigen vorhandener elektrischer Ströme erhalten, als man zwei von einander entfernte Stellen eines Nervs oder den mit ihm verbundenen Muskel mit einem empfindlichen Galvanometer in einen Schliefsungskreis brachte.

Dr. Donné in Paris gehört zu denen, die den Ursprung dieser elektrischen Erregung auf den Oberflächen der inneren und äufseren thierischen Häute suchen, indem er den ersteren gröfstentheils alkalische, den letzteren saure Eigenschaften zuschreibt, weil die von diesen Häuten ausgeschiedenen Flüssigkeiten chemisch auf diese Weise reagiren. Er fand nämlich in einem Platindrahte, dessen eines Ende mit der äufseren, das andere mit der inneren Haut des Mundes communicirte, und in dessen Schliefsungsbogen sich ein empfindlicher Galvanometer eingeschaltet befand, deutliche Spuren eines elektrischen Stromes, welcher dieser Ansicht entsprach. Matteucci aber überzeugte sich, dafs ein auf diese Weise erregter Strom nach dem Tode des Thieres, von welchem er herrührte, bald aufhörte, und dafs dieser mithin nicht allein durch die chemische Wirkung der ausgeschwitzten Feuchtigkeiten entstehen konnte. Dagegen wies Wilson Philipp nach, wie durch einen hydroelektrischen Strom die Function der Nerven in gewissen Fällen ersetzt werden könne, indem er an Kaninchen die durch Zerschneiden einiger zum Magen führenden Nervenstränge zerstörte Verdauungsthätigkeit wiederherstellte, sobald er einen solchen schwachen Strom in die abgeschnittenen Enden der Nerven leitete.

(S. Dove's Repert. d. Phys. I. S. 248, und Dr. Eydam's Erschein. d. Elektr. u. d. Magnetismus 1843 S. 69.)

Dafs aber eine besondere elektrische Thätigkeit in der Nervensubstanz vorhanden ist, welche sich bei manchen Thieren durch eine ihrem Willen unterworfene Kraftäufserung zu erkennen giebt, beweisen die sogenannten elektrischen Fische, zu denen vorzüglich der Zitterrochen, der Zitteraal und Zitterwels gehören. Es zeichnen sich dieselben durch einen aufserordentlichen Reichthum an Nerven, vorzüglich aber durch eine eigenthümliche

Organisation aus, in Folge welcher sie das Vermögen besitzen, anderen in ihre Nähe kommenden Thieren nach Willkür elektrische Schläge zu ertheilen, die denen einer Ladungsflasche oder einer vielplattigen Volta'schen Säule ähnlich und mitunter selbst so heftig sind, dafs dadurch Menschen, Pferde und andere grofse Thiere betäubt und selbst getödtet werden. Nach anatomischen Untersuchungen hat sich ergeben, dafs das elektrische Organ dieser Thiere viele Aehnlichkeit mit dem Baue hydroelektrischer Zellenketten hat, und dafs von ihm nicht allein die schon angeführten physiologischen, sondern auch andere elektrische Wirkungen ausgehen, die sich ganz identisch mit denen zeigen, welche die gewöhnliche, vorzüglich aber die Volta'sche Elektricität hervorbringt. So fand man, dafs bei dieser elektrischen Action Leiter und Nichtleiter ein gleiches Verhalten zeigen, dafs durch ihren Strom elektrische Lichterscheinungen, Wärmeerregungen, chemische Wirkungen und selbst magnetische Affectionen hervorgerufen werden können.

Die elektrischen Organe aller dieser Fische sind in ihrem Baue einander ähnlich, obschon sie sich an verschiedenen Theilen ihres Körpers befinden. Am Zitterrochen, den man am meisten und genauesten beobachtet und anatomisch untersucht hat, besteht dasselbe aus säulenförmigen Zusammensetzungen einzelner Zellen, die eine durch Quermembranen geschiedene Flüssigkeit einschliefsen. Zahlreiche Nerven gehen zu diesen Wandungen und bilden mit ihnen wahrscheinlich etwas Aehnliches, wie die heterogenen Elektromotoren einer hydroelektrischen Kette. (Eine Abbildung dieses Fisches und seines Organes, so wie eine nähere Beschreibung davon, findet man in Pouillet's Lehrb. d. Phys., bearb. v. Dr. Müller I. 8.529.)

Den elektrischen Schlag erhält man von einem solchen Fische, sobald man sein elektrisches Organ äufserlich an zwei verschiedenen Puncten entweder unmittelbar oder durch einen Leiter berührt. Der Schlag ist um so stärker, je weiter die Berührungsstellen von einander entfernt sind, und die Erschütterung kann selbst durch mehre Personen gehen, wenn diese die Kette durch benäfste Hände schliefsen und die erste den

Fisch am Leibe, die letzte ihn am Rücken berührt. Durch jeden unvollkommenen Leiter wird der Strom und dessen Wirkung aufgehoben. Durch Ableitung der Elektricität vom Rücken erhält man positive, vom Leibe negative Elektricität, wie man mittels empfindlicher elektroskopischen Apparate nachgewiesen hat. John Davy war der Erste, der die chemische Kraft dieser Ströme durch Zersetzung von Wasser und Metallsalzen, ferner ihre thermischen Wirkungen mittels eines elektrischen Thermometers und die magnetischen Wirkungen theils durch Ablenkung der Magnetnadel, theils durch Magnetisirung von Stahlnadeln nachwies, so wie es sowohl Matteucci als auch in der neuesten Zeit Lineari gelang, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten.

Eine nähere Beschreibung dieser Erscheinungen und Beobachtungen, so wie der mit diesen Thieren angestellten Versuche findet man in Marbach's phys. Lex. IV. S. 989, Dove's Repert. d. Phys. I. S. 248, II. S. 85, VI. S. 295, Poggendorff's Annal. Ergänz. Bd. I. S. 385, Pouillet's Lehrb. d. Phys, bearb. v. Dr. Müller I. S. 525, Eydam's Erschein. d. Elektr. u. d. Magnet. S. 66.

Auch in dem Organismus der Pflanzen scheint während ihres ganzen Lebensprocesses, insbesondere aber bei den verschiedenen Stadien ihrer Entwickelung, Elektricität im Spiele zu sein. So hat man bei mehren Blumen die Beobachtung gemacht, dafs von ihnen zur Blüthezeit an warmen heiteren Tagen nach Sonnenuntergang deutlich sichtbare Lichtblitze ausgehen; ferner hat man durch geeignete galvanometrische Versuche gefunden, dafs im Innern der Pflanzensubstanz elektrische Ströme, wenn auch nur von geringer Intensität, vorhanden sind, und dafs vorzüglich während des Keimens von Samen, überhaupt aber während des ganzen Vegetations-Processes, durch die Exhalation der Kohlensäure in die Atmosphäre eine ununterbrochene Elektricitäts-Entwickelung stattfindet.

Die an Pflanzen eintretenden Lichterscheinungen sind vorzüglich von Zawadzki, und zwar besonders an rothgelben Blumen (*Calendula officinalis*, *Tropaeolum*, *Lilium bulbiferum*, *Tagetes patula* und *erecta*), in den Monaten Juli und August wahrgenommen worden, wo aus einer und derselben Blume oft mehre Male hinter einander Lichtblitze hervorschossen. —

Ueber die in Pflanzen vorhandenen elektrischen Ströme hat hauptsächlich Dr. Donné Versuche angestellt, aus denen sich ergab, dafs bei manchen Früchten der Strom vom Stiel zum Auge, bei anderen in entgegengesetzter Richtung geht, und Blake will durch ähnliche Versuche das Vorhandensein von Strömen aufgefunden haben, die bei Blättern vom Stiele zu ihrer Oberfläche gehen, deren Entstehung er sich aus den auf letzterer vor sich gehenden chemischen Zersetzungen erklärt, durch welche das Blatt positiv, die es umgebende Luft dagegen negativ würde. (S. Dove's Repert. d. Phys. I. S. 248, und Eydam's Erschein. d. Elektr. u. d. Magnet. S. 193). — Insbesondere aber hat sich Pouillet die meisten Verdienste um diesen Zweig der Physik erworben, indem derselbe mittels eines condensirenden Elektroskops, welches er mit keimenden Pflanzen in leitende Verbindung setzte, fand, dafs von ihnen positive Elektricität ausgeht, und zwar glaubt er nach seinen darüber angestellten Versuchen annehmen zu können, dafs täglich eine Fläche von 100 Quad. Meter so viel positive Elektricität entbindet, dafs damit die stärkste Batterie geladen werden könnte. (S. Pouillet, Elémens de physique exper. Paris 1836 S. 554, und Poggendorff's Annal. XI. S. 430.)

Fünfter Abschnitt.

Die Elektrodynamik

oder

die Erscheinungen des Elektromagnetismus und des Magnetoelektrismus.

§. 550.

Dafs zwischen Elektrismus und Magnetismus in mehrfacher Beziehung eine grofse Aehnlichkeit stattfindet, wurde bereits an mehren Stellen in den diesen beiden Naturkräften gewidmeten Abschnitten nachgewiesen; am meisten zeigt sich diese jedoch jedenfalls in der völligen Uebereinstimmung ihrer beiden Hauptgesetze, nämlich dem der polaren Attraction (§§. 442, 479, 486) und dem der Induction oder Vertheilung (§§. 444, 483, 488). Aber auch manche andere beobachtete Erscheinungen und Thatsachen, namentlich die unter verschiedenen Verhältnissen wahrgenommene Einwirkung der Elektricität auf Magnete und magnetisirbare Körper, liefsen auf einen innigen Zusammenhang beider Naturkräfte schliefsen.

Solche beobachtete Erscheinungen waren unter anderen folgende: Man sah, dafs Stahlstangen, ja sogar Steine (wahrscheinlich Magneteisen) durch den Blitz magnetisch wurden. Eben so glückte es auch bisweilen, Stahlnadeln durch den elektrischen Funken zu magnetisiren. Ferner bemerkte man, dafs der Compafs auf Schiffen manchmal von seiner normalen Richtung abwich, sobald die Masten in der Nähe von Gewitter-

wolken standen; ja als im J. 1676 bei einer nach Barbados segelnden Flotte ein Schiff vom Blitze getroffen worden war, erstaunte man nicht wenig, dieses Schiff mit einem Male rückwärts nach England segeln zu sehen. Bei näherer Untersuchung ergab sich dann, dafs die Pole der Compafsnadel durch den Blitzstrahl in die entgegengesetzten verwandelt worden waren.

Erst in der neueren und neuesten Zeit gelang es durch einige wichtige Entdeckungen, die Begründung dieses Zusammenhanges wissenschaftlich nachzuweisen. Die Thatsachen, welche dafür als Beweisgründe aufgefunden wurden, sind folgende. Es ergab sich nämlich:

1.) dafs jeder metallische Leiter, durch den ein elektrischer Strom fliefst, auf bewegliche Magnete einwirkt und magnetische Eigenschaften zeigt,

2.) dafs elektrische Ströme auf einander ganz übereinstimmende Wirkungen, wie auf Magnete, äufsern,

3.) dafs ein Magnet sich gegen einen elektrischen Strom auf ganz gleiche Weise wirksam zeigt, wie ein elektrischer Strom,

4.) dafs elektrische Ströme in Leitern ebenfalls solche Ströme erregen, und dafs endlich auch

5.) Magnete auf ganz analoge Weise elektrische Ströme, so wie andere davon abhängige elektrische Wirkungen hervorzubringen vermögen.

Alle die verschiedenen Erscheinungen, bei welchen der Elektrismus magnetische Wirkungen erzeugt, bilden die Lehre vom Elektro-Magnetismus, und diejenigen Erscheinungen, bei welchen durch Magnete elektrische Wirkungen hervorgerufen werden, umfafst die Lehre vom Magneto-Elektrismus. Da aber nach den bis jetzt darüber gewonnenen Erfahrungen die in Bewegung befindliche Elektricität als die Grundursache aller dieser Effecte betrachtet werden kann, so hat man diesen neu begründeten Zweig der Physik auch die Elektrodynamik genannt.

Schon im vorigen Jahrhundert sprachen Ritter und Yelin ahnungsvoll den innigen Zusammenhang und die Identität der Elektricität und des Magnetismus aus, aber erst im Jahre 1820 entdeckte Oerstedt zu Kopenhagen die ersten elektromagnetischen und 1832 Faraday die ersten magnetoelektrischen Wirkungen.

I. Elektro-Magnetismus.

A. Wirkungen des elektrischen Stromes auf bewegliche Magnete.

§. 551.

Die erste von Oerstedt gemachte Entdeckung, wodurch die Bahn zu diesem reichhaltigen und wichtigen Zweige der Physik gebrochen wurde, bestand darin, dafs ein in der Nähe einer Magnetnadel vorbeifliefsender elektrischer Strom diese aus ihrer normalen Stellung ablenkte. Diese Ablenkung, welche, wie es anfangs schien, auf ganz eigenthümliche und verschiedene Weise eintrat oder auch aufsenblieb, erfolgt aber, wie sich bald nach erlangter näherer Kenntnifs ergab, nach einem allgemeinen und unveränderlichen Gesetze, und zwar, nach Ampère's kurzer und allgemeiner Auffassung, dergestalt, dafs der Nordpol jeder Magnetnadel stets links von der Richtung des Stromes abweicht, welcher zwischen der Nadel und dem Beobachter hindurchfliefst, sobald man sich diesen bei den Füfsen ein-, bei'm Kopfe austretend und das Gesicht der Nadel zugewendet vorstellt. Dabei strebt die Nadel, so weit es die auf sie einwirkende Richtkraft des Erdmagnetismus gestattet, eine zur Richtung des Stromes senkrechte Stellung anzunehmen, wobei diese Wirkung nicht geändert wird, sobald sich zwischen dem Stromleiter und der Magnetnadel gute oder schlechte Elektricitätsleiter befinden. Unmagnetische Nadeln oder

solche von nicht magnetisirbaren Stoffen erleiden keine derartige Einwirkung von einem elektrischen Strome.

Auch hier wird unter Strom, wie bereits schon früher bemerkt, immer nur der positive und dessen Richtung verstanden, obschon das oben angeführte Gesetz eben so, nur gerade umgekehrt, Anwendung findet, sobald man diefs Alles auf den negativen Strom bezieht.

Da, wie gleichfalls schon früher (§. 493, S. 815 u. §. 502) angeführt wurde, der dauernde elektrische Strom in seinen magnetischen Wirkungen sich kräftiger und bestimmter zeigt als der momentane, so bedient man sich auch zu diesen Versuchen hauptsächlich der hydroelektrischen Ströme, obschon, wie wir gesehen haben, mehre magnetische Wirkungen auch durch Reibungs-Elektricität hervorgebracht werden können, und weil sich thermoelektrische Ströme hinsichtlich ihrer Ausdauer wie Volta'sche verhalten, so zeigen sie sich auch in ihren magnetischen Wirkungen mit diesen ganz übereinstimmend.

Zur Anstellung der elektromagnetischen Versuche benutzte man anfänglich Volta'sche Säulen; als man aber erkannte, dafs die magnetischen Wirkungen, wo ein beträchtlicher Leitungswiderstand in der Regel nicht zu überwinden ist, hauptsächlich von der Quantität der in Bewegung kommenden Elektricität abhängen, so wendete man alsdann nur eine einfache hydroelektrische Kette von hinlänglich grofser wirksamer Fläche, meist einen Oerstedt'schen Trogapparat oder eine Hare'sche Spirale, an. Seitdem sich aber gezeigt hat, dafs die sogenannten constanten Ketten die kräftigsten und unveränderlichsten in ihren Wirkungen sind, werden diese hierzu am vortheilhaftesten gebraucht, und zwar ist zur Anstellung aller derartigen Versuche die Stromkraft einer Kette von zwei Platin- oder Kohlen-Elementen (s. §. 510, S. 860), deren wirkende Flächen 10 bis 20 Quad. Zoll betragen, vollkommen ausreichend.

Oft ist es auch bei Anstellung solcher Versuche wünschenswerth, die Stromrichtung in die entgegengesetzte zu verwandeln, ohne defshalb eine Aenderung in der Anordnung der Fortleitung von den Polen der Kette vornehmen zu müssen. Zur Erreichung dieses Zwecks dient ein besonderer Hilfsapparat, der zwischen der Kette und dem elektro-magnetischen Apparate in den Schliefsungskreis eingeschaltet wird, und dem man den Namen Commutator oder Gyrotrop gegeben hat. Die erste Idee dazu verdanken wir Ampère, der sich um diesen Zweig der Physik vielfach verdient gemacht; seitdem hat aber der genannte Apparat, je nach seiner speciellen Anwendung, sehr verschiedene Einrichtungen erhalten. Eine der zweckmäfsigsten und bequemsten ist jedenfalls die Pohl'sche, wovon,

mit einigen Abänderungen, die Fig. 341a—341d obere, Seiten- und perspectivische Ansichten darstellen. Auf einem rechteckigen Bretchen sind nämlich vier kleine kupferne reichlich ¼ Zoll starke Säulchen *ABCD* befestigt, von welchen *A* mit *D* und *B* mit *C* durch einen Kupferstreif oder dergleichen Draht in Verbindung stehen. Damit sich diese Leitungen, wo sie sich kreuzen, nicht metallisch berühren, kann man eine derselben, z. B. *AD* an dieser Stelle mit einem Bogen versehen. *PM* ist eine zwischen zwei kupfernen Säulen drehbare Welle von demselben Metalle, die aber in ihrer Mitte, um in zwei von einander isolirte Theile getrennt zu werden, aus einem Stücke Holz oder Elfenbein besteht. An jeder der metallenen Hälften befindet sich ein kupferner Bügel *ac*, *bd*, dessen Form *aPc* die Seitenansicht Fig. 341b veranschaulicht. Die Säulen *P* und *M*, in welchen sich die Gyrotropenwelle dreht, dienen zugleich als Schraubenklemmen, durch die man jene mit dem elektromotorischen Apparate in leitende Verbindung bringen kann, *p* und *m* sind um *A* und *B* drehbare, an ihren Enden (bei *p* und *m*) mit Schraubenhülsen versehene Arme, welche dazu dienen, den Strom nach dem elektro-magnetischen Apparat fortzuleiten. Sind die angeführten Verbindungen hergestellt, so bleibt die Kette offen, so lange die Bügel *ac* und *bd* horizontal, wie Fig. 341b zeigt, stehen, drückt man sie aber so nieder, wie Fig. 341c zeigt, so wird die Verbindung derselben mit *A* und *B* hergestellt, der Strom geht dann von *P* nach *A*, durchläuft von da die Leitung des elektro-magnetischen Apparats und kommt über *B* nach *M* zurück; bewegt man sie aber auf die andere Seite, so treten beide Bügel mit *C* und D in leitende Verbindung, wie Fig. 342d zeigt, und dann geht der Strom von *P* über *C* nach *B*, durchläuft von dort die Leitung in dem elektro-magnetischen Apparate und kehrt über *A* nach *D* und *M* zurück. — Um sich des Dienstes eines Gyrotropen zu versichern, ist hauptsächlich darauf zu sehen, dafs sich alle die Theile, durch welche der Strom geleitet wird, an ihren Verbindungstellen rein metallisch und innig berühren. Bei der hier beschriebenen Einrichtung ist es vortheilhaft, diese Stellen zu vergolden, oder man mufs sich, wie es bisher geschehen, der Quecksilbernäpfchen bedienen.

Die nach dem angegebenen Hauptgesetze eintretenden Wirkungen des elektrischen Stromes erzeugen aber eine verschiedene Störung in der natürlichen Gleichgewichtslage einer Magnetnadel, und zwar wird, mit Ausnahme eines einzigen Falles, der weiter unten näher angegeben ist, nur die Abweichung geändert, wenn der Strom über

oder unter der Magnetnadel weggeht, wogegen eine Aenderung in der Neigung eintritt, sobald der Strom in gleicher Höhe an einer Seite derselben vorbeifliefst. Aufserdem äufsert sich der Einflufs des Stromes auf eine Abweichungsnadel auch noch verschieden nach der Richtung, welche derselbe zur normalen Stellung von jener hat.

Die Hauptfälle, welche bei dieser Fundamentalwirkung elektrischer Ströme vorkommen können, sind folgende:

1.) Geht der Strom von Süden nach Norden über eine Abweichungsnadel weg, so wird ihr Nordpol westlich, ihr Südpol östlich abgelenkt; wenn dagegen der Strom in derselben Richtung unter der Nadel wegläuft, so ist die Ablenkung gerade die entgegengesetzte.

2.) Leitet man den Strom in dieser Richtung an der Ostseite einer Magnetnadel vorbei, so wird ihr Nordpol gehoben, ihr Südpol nach der Erdoberfläche gesenkt, wogegen die umgekehrte Neigung eintritt, sobald der Strom an der Westseite vorbeifliefst.

3.) Alle die angeführten Ablenkungen erfolgen in entgegengesetzter Richtung, wenn der Strom die Richtung von Süden nach Norden hat.

4.) Geht aber ein Strom von Osten nach Westen über eine Abweichungsnadel weg, so kehrt sich diese ganz um, d. h. ihr Nordpol kommt nach Süden und ihr Südpol nach Norden zu stehen. Befindet sich aber eine solche Nadel über dieser Stromrichtung, so verändert sich ihre Stellung nicht, sondern sie verharrt mit verstärkter Intensität in derselben.

5.) Gerade das Gegentheil vom Vorigen tritt wieder ein, sobald der Strom die Richtung von Westen nach Osten annimmt.

Um die jetzt erklärten verschiedenen Fälle des Oerstedt'schen Fundamental-Versuchs einzeln nachzuweisen, ist es nur nöthig, den Strom einer solchen Kette, wie sie oben dazu als brauchbar bezeichnet wurde, durch einen geraden, etwa 1 Linie dicken Kupferdraht zu leiten und diesem die bezeichneten bestimmten Stellungen gegen eine leicht bewegliche Magnetnadel zu geben. Es werden dann die Erscheinungen so eintreten, wie sie vorher angeführt wurden. Die Neigungsänderungen giebt eine gewöhnliche Abweichungsnadel zwar auch, jedoch nur unbedeutend an; will man diese bemerkbarer und bestimmter erhalten, so muſs man sich dazu einer einfachen äquilibrirten Neigungsnadel, etwa einer solchen, wie sie die Fig. 269 darstellt und wie sie S. 703 beschrieben wurde, bedienen. Will man aber die verschiedenen Abweichungen, wie sie bei dem bezeichneten Stromlaufe in Bezug auf die Weltgegenden eintreten, je nachdem sich die Magnetnadel über oder unter demselben befindet, mit einem Male hervorbringen, so kann man sich dazu folgenden einfachen Apparates bedienen. *abcd* Fig. 342 ist ein quadratischer Rahmen von mindestens 1 Linie starkem Kupferdraht, welcher auf vier in dem Brete *AB* stehenden Holzsäulen *a, b, c, d* befestigt, bei *a* aber offen ist. An dieser Stelle sind die Drahtenden an der Säule *a* abwärts gebogen und endigen sich bei *p* und *m* in zwei Schraubenhülsen, welche mit den entsprechenden des Gyrotropen Fig. 341 in leitende Verbindung gesetzt werden. In der Mitte jeder Quadratseite des Kupferrahmens befindet sich eine Stahlspitze, um auf jede eine leicht bewegliche Abweichungsnadel aufstellen zu können, wenn der Strom unter ihnen weggehen soll; will man ihn aber über diese hinwegführen, so sind dieselben auf vier kleine mit Stahlspitzen versehene Stative Fig. 342 *a* zu bringen, und diese dann unter die Mitte jener vier Seiten, wovon zwei genau im magnetischen Meridiane stehen müssen, zu stellen. Die Inclinationsphänomene lassen sich mit diesem Apparate nachweisen, wenn man sich zweier solcher einfacher Neigungsnadeln, wie sie vorher bezeichnet wurden, bedient, die man innerhalb des Rahmens nahe an den Seiten aufstellt, wo der Strom seinen Lauf in der Richtung des magnetischen Meridianes hat, oder es lassen sich auch in der Mitte dieser beiden Seiten horizontale Axen anbringen, über welche dann die äquilibrirten Neigungsnadeln, mittels in ihrer Mitte befindlicher Hülsen, leicht beweglich geschoben werden können. In Betreff der Abweichungsnadeln ist noch zu bemerken, daſs man diese nicht zu lang nehmen und zu stark magnetisiren darf, damit sie sich, bei der Entfernung, in welcher sie unter einander zu stehen kommen, in ihrer normalen Stellung nicht stören.

Um es leicht zu veranschaulichen, dafs bei allen den verschiedenen Fällen die Einwirkung des Stromes nach dem oben angeführten Hauptgesetze erfolgt, kann man eine kleine Gelenkepuppe anwenden, deren linker ausgestreckter Arm dann allemal die Richtung anzeigt, in welche der Nordpol der Nadel zu kommen strebt, sobald man jene Figur so hält, dafs sich der Draht zwischen ihr und der Magnetnadel befindet, dafs ihr Gesicht gegen letztere gerichtet ist, und dafs der Strom von den Füfsen nach dem Kopfe geht.

§. 552.

Aus allen den in dem vorangehenden §. angegebenen Wirkungen des elektrischen Stromes auf Magnetnadeln ersieht man, dafs sich jener gegen letztere wie eine Kraft äufsert, die lateral und zwar rechtwinkelig von seiner Richtung, in dem schon näher bezeichneten Sinne, ausgeht. Wäre diese Kraft die allein auf die Magnetnadel einwirkende, so müfste ihre Axe stets eine zur Stromrichtung senkrechte Stellung annehmen; da aber die magnetische Kraft der Erde zugleich wirksam ist und der Nadel ihre polare Stellung ertheilt, so entspringt aus dem Conflicte dieser beiden Kräfte eine Wirkung, die, wie bei jeder zusammengesetzten Bewegung (§ 28.) bestimmbar ist, und wonach sich auch die verschiedenartige Ablenkung der Nadel erklären läfst.

Nur in dem Falle, wenn die magnetische Stromkraft und die richtende der Erde in gleichem Sinne auf eine Magnetnadel einwirken, ändert sich ihre Stellung nicht, sondern die magnetische Intensität derselben ist dann der Summe beider Kräfte gleich. Wirken diese Kräfte aber einander direct entgegen, so ist die Resultirende der Differenz derselben gleich; die Nadel verharrt dann entweder mit verringerter Intensität in ihrer normalen Stellung, oder sie wird völlig umgekehrt, wenn die magnetische Stromkraft gröfser als die richtende der Erde ist, wo sich, bei der dann angenommenen Stellung der Magnetnadel die

Gröfse ihrer Intensität auf gleiche Weise bestimmt (s. 4 im vorigen §.). Erfolgen aber die Einwirkungen der beiden Kräfte unter irgend einem Winkel, so mufs, dem Gesetze des Kräfteparallelogramms entsprechend, die Nadel die Richtung der Resultirenden annehmen, und dieſs ist daher auch dann der Fall, wenn der Strom mit der Axe des Magnets parallel läuft (s. 1 u. 2 im vorigen §.).

Hieraus erklärt sich nun, dafs die durch einen elektrischen Strom hervorgebrachte Gröfse der Ablenkung einer Magnetnadel, sobald er über oder unter dieser parallel zu ihrer Axe hinwegfliefst, stets von dem Verhältnisse der beiden im Vorstehenden angegebenen Kräfte abhängig sein wird. Im Allgemeinen mufs deshalb die Ablenkung um so gröfser ausfallen, je beträchtlicher die Stromstärke und je geringer die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf die Nadel ist. Sobald nun eine dieser beiden Kräfte eine bestimmte und sich gleichbleibende Gröfse hat, wie dieſs annähernd von der magnetischen Kraft für jeden Ort der Erde gilt, so ist es auch begreiflich, dafs die Gröfse der anderen Kraft, die Stärke des elektrischen Stromes, nach dem Winkel, um welchen die Magnetnadel durch letztere aus ihrer normalen Stellung abgelenkt wird, meſsbar sein mufs. Diese gesetzmäfsige Wechselwirkung der beiden mehrerwähnten Kräfte führte dazu, die Magnetnadel als Index des Vorhandenseins und zugleich als Meſswerkzeug elektrischer Ströme zu benutzen, woraus zugleich die wichtige Erfindung der Multiplicatoren und Galvanometer hervorging, deren verschiedenartige Einrichtung und Anwendung zur Mafsbestimmung der Stromstärken bereits beschrieben und erklärt worden ist (m. s. § 517 und 527).

B. Wirkungen elektrischer Ströme auf einander.

§. 553.

Keine Entdeckung im Gebiete der Physik fand wohl je eine allgemeinere und regere Theilnahme, als die Oerstedt'sche. Die ausgezeichnetsten Physiker des In- und Auslandes erkannten ihre Wichtigkeit und suchten, durch Wiederholung und Abänderung der Versuche, dieser eigenthümlichen Wirksamkeit der elektrischen Kraft noch weiter nachzuspüren, um das durch die Oerstedt'schen Fundamentalversuche immer noch nicht völlig aufgeklärte Geheimnifs, worin eigentlich die räthselhafte Verbindung zwischen Elektrismus und Magnetismus besteht, vollends zu durchdringen. Vielseitig war man bemüht, auf experimentellem Wege noch andere Facta aufzufinden, welche entweder als evidente Beweisgründe für die Identität des Elektrismus und Magnetismus gelten könnten, oder aus denen es sich herausstellen würde, dafs beide nur als Modificationen einer und derselben Grundkraft zu betrachten wären. Wenn es nun auch bis jetzt noch nicht gelungen ist, dieses Ziel vollkommen zu erreichen, so verdanken wir doch diesem eifrigen Forschungsgeiste sehr wichtige und annähernde Aufschlüsse. Zunächst und hauptsächlich führte dazu eine Entdeckung des scharfsinnigen Ampère, der nämlich die Oerstedt'schen Erfahrungen von einem allgemeineren Gesichtspuncte auffafste, und zwar das Verhalten elektrischer Ströme gegen einander zum Gegenstande seiner Untersuchung wählte. Er gelangte dabei zu dem wichtigen Resultate, dafs die Elektricitäten auch im Zustande der Bewegung, d. h. dafs also auch elektrische Ströme nach einem gewissen Gesetze attractorisch und repulsiv auf einan

der einwirken, wie dieſs von der statischen oder im Spannungszustande befindlichen Elektricität nach dem polaren Attractionsgesetze (§ 479) geschieht.

Durch die hierbei stattfindenden Erscheinungen wird nun der Zusammenhang der Elektricität und des Magnetismus, der sich unbestreitbar schon aus der Oersted't'schen Entdeckung folgern läſst, auf eine eigenthümliche Weise ins Licht gestellt. Insbesondere wichtig sind aber die Ampère'schen Entdeckungen dadurch geworden, daſs dieser Physiker daraus eine höchst geistreiche Theorie ableitete, nach welcher die Erscheinungen des Magnetismus auf elektrische Ströme zurückgeführt werden, oder wodurch sich wenigstens die Wechselwirkungen zwischen Elektricität und Magnetismus auf eine ungezwungene und einfache Weise erklären und überhaupt die verschiedenen elektrodynamischen Erscheinungen zu einem Ganzen verknüpfen und übersichtlich machen lassen.

§. 554.

Die gegenseitige Einwirkung elektrischer Ströme auf einander fand Ampère verschieden nach ihrer Lage und Richtung zu einander. Das Grundgesetz aber, nach welchem diese verschiedenartigen Wirkungen eintreten, ist folgendes:

Parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie nach einerlei Richtung fliefsen, wie in Fig. 343[a] bei *ab* und *cd* die Pfeile anzeigen; sie stoſsen sich aber ab, sobald ihre Richtungen entgegengesetzt sind, wie dieſs in der Figur 343[b] ebenfalls die Pfeile bezeichnen.

Um die Versuche anstellen zu können, welche diese Wirkungen elektrischer Ströme auf einander bestätigen, sind zwei verschiedene Apparate erforderlich, nämlich ein möglichst beweglicher und ein unbeweglicher Leiter, durch welchen elektrischer Strom flieſst. Hierzu sich eignende Appara-

auf sehr verschiedene Weise ausgeführt worden, wovon folgende einige der vorzüglichsten sind:

1) De la Rive's schwimmender Strom Fig. 344. Es ist dieſs jedenfalls der einfachste bewegliche Stromleiter. Er besteht aus einer Korkscheibe *ab*, unter welcher eine kleine Wollaston'sche Kette befestigt ist, die aus einem dünnen Kupferbleche (noch wirksamer aber aus einem solchen Platinblech) *kk* mit einem dazwischen befindlichen amalgamirten Zinkblättchen *z* combinirt wird. Bei + ist der Pol des Kupferelements, bei — der des Zinkelements, wozu sich am beſsten an diese Metalle gelöthete Platindrahtstückchen eignen, welche durch die Korkscheibe hindurch gehen, und mit denen der als Leiter dienende schwache Kupfer- oder Silberdraht + *st* — auf irgend eine einfache Weise leitend zu verbinden ist. Dieser sogenannte elektrische Schwimmer wird nun in ein Gefäſs gesetzt, worin sich schwefelsaures Wasser als erregende Flüssigkeit befindet, welche einen Strom in der Richtung von *s* nach *t*, wie der Pfeil in der Figur anzeigt, unterhält*). Als zweiter Theil gehört zu diesem Apparate nun noch der zweite Strom, dem man zu jenem schwimmenden die erforderliche stabile Lage geben kann. Am geeignetsten dazu ist ein mit Seide übersponnener, etwa 1 *m m* dicker Kupferdraht, den man 8 bis 10 oder auch noch mehre Male neben einander, nach Art der Multiplicatoren, über ein hölzernes Rähmchen oder rechteckiges Stückchen Holz von ungefähr 6 Zoll Länge und 3 Zoll Breite, wie die Figur 345 zeigt, windet, von welchem aus die gegen 1 bis 1½ Fuſs langen Enden nach einer constanten Kette (einer einfachen Daniell'schen, Grove'schen oder Bunsen'schen) geleitet werden. Es läſst sich diesem Rahmen dann leicht die Lage geben, daſs der auf seiner langen Seite flieſsende Strom parallel und in derselben oder entgegengesetzten Richtung zu dem des schwimmenden Stromleiters flieſst, worauf man die angeführten Erscheinungen eintreten sieht. (S. Gilbert's Ann. LXIX, 81, und Poggendorff's Ann. XXXVI, 548.)

2) Ampère's elektrodynamischer Apparat, Figur 346. Auf dem Bretchen *AB* stehen die zwei starken Kupferdrähte *abcd* und *efgh*, welche, wie die Figur zeigt, oben zweimal rechtwinkelig gebogen sind und sich bei *d* und *h* in zwei

*) Ist das Gefäſs, worin sich die Flüssigkeit befindet, nicht sehr weit, so wird der Schwimmer von den Wänden desselben bald angezogen, wodurch der Strom seine freie Beweglichkeit verliert. Um dieſs zu verhindern, muſs man den inneren Rand der Gefäſswände, wo die Oberfläche der Flüssigkeit steht, mit Fett bestreichen und mit *Semen lycopodii* bestreuen.

Quecksilbernäpfchen endigen, deren Mitten in einer lothrechten Linie unter einander liegen müssen. Diese beiden Bügel dienen zum Theil selbst als stabile Leiter des elektrischen Stromes, sind aber hauptsächlich zu Trägern des beweglichen Stromes bestimmt. — Der zu diesem Beweis dienende drehbare Leiter, durch den erst die Kette in den beiden mit einem Tropfen Quecksilber versehenen Näpfchen *d* und *h* geschlossen wird, ist der in der Form des doppelten Rechtecks *iklm* und *ikon* gebogene, gegen 1 ^{mm} starke Kupferdraht, welcher bei *i* und *k* auf ein Papp- oder Korkscheibchen isolirt befestigt ist, und dessen Enden bei *d* und h mit abwärts gehenden Stahlspitzen versehen sind. In dem oberen Quecksilbernäpfchen *d* findet dieser Leiter seine ganze Unterstützung, indem er dort auf der Stahlspitze drehbar ruht. Um ihm eine hinreichend leichte Bewegung zu verschaffen, ist es gut, wenn die Stahlspitze in die Vertiefung eines auf dem Boden des Näpfchens *d* angebrachten Glas- oder Achatblättchens zu stehen kommt, während die andere Spitze nur in das Quecksilber des Näpfchens *h* eintaucht. Zur Verbindung dieser ganzen Leitung mit der hydroelektrischen Kette sind an den beiden Kupferbügeln bei *a* und *e* verschiebbare Federhülsen angebracht, die sich zu beiden Seiten in zwei mit Schraubenklemmen versehene Arme endigen. Von *p* und *m* aus kann dann die Verbindung entweder unmittelbar mit den Polen der Kette, oder mit dem Gyrotrop Fig. 341 hergestellt werden.

Nimmt nun der Strom seinen Lauf so, wie er in der Figur durch die Pfeile angedeutet ist, so wird der Theil *oq* des beweglichen Leiters von dem Theile *ab* des festen, in welchem der Strom dieselbe parallele Richtung hat, angezogen, von dem Theile *fe* aber, wo der Strom in entgegengesetzter Richtung fliefst, abgestofsen.

Zur Anstellung eines anderen Versuches, der ebenfalls auf obigem Gesetz der Anziehung parallel und in derselben Richtung fliefsender Ströme beruht, dient

3) Roget's oscillirende elektrische Spirale Fig. 347. Eine weit gewundene Spirale + — von hinlänglich schwachem Kupferdraht, damit sie sich leicht zusammenziehen und verlängern kann, wird mit ihrem oberen Ende an dem Leiter, welcher von dem einen Pole der Kette ausgeht, lothrecht so aufgehangen, dafs die Spitze ihres unteren Endes gerade die Oberfläche des Quecksilbers in dem Gefäfse *q* berührt, welches mit dem anderen Pole derselben Kette in Verbindung gesetzt wird. — Beim Schliefsen der Kette kommt die Spirale in longitudinale Schwingungen, weil sich bei dem eintretenden Zu-

sammenziehen der einzelnen Windungen der Spirale die Kette öffnet, hierauf aber die Schwere die Spirale wieder ausdehnt und dadurch die Kette von Neuem schliefst.

§. 555.

Haben elektrische Ströme keine parallele Lage zu einander, so ist in ihnen das Bestreben vorhanden, eine solche Lage zu erlangen, bei der sie nach derselben Richtung gleichlaufend zu einander fortfliefsen können. Diefs zeigt sich deutlich in folgenden Fällen.

Bilden zwei geradlinige Ströme *ab*, *cd* Fig. 348[a] und [b] irgend einen Winkel, so ziehen sie sich ebenfalls entweder an, oder sie stofsen sich ab. Das Erstere tritt ein, sobald beide Ströme zum Winkelscheitel hin, oder aus dem Winkelscheitel wegfliefsen, wie die Pfeile in der Figur 348[a] andeuten; Abstofsung erfolgt dagegen, sobald der eine Strom zum Winkelscheitel hin, der andere dagegen von demselben wegfliefst, wie die Figur 348[b] darstellt. — In beiden Fällen spricht sich also hier das eben angeführte Bestreben aus.

Durchkreuzen sich zwei über einander wegfliefsende geradlinige Ströme, *ab*, *cd* Fig. 349, so müssen sie sich, nach dem vorhergehenden Falle, zwischen den Scheitelwinkeln *x* und *y* anziehen, zwischen den Scheitelwinkeln *z* und *w* aber abstofsen. — Das Resultat dieser Wirkung besteht ebenfalls darin, dafs beide Leiter eine solche Lage anzunehmen suchen, bei welcher die in ihnen fortfliefsenden Ströme eine gleiche Richtung haben.

Versuch. Um diese Wirkung nachzuweisen, kann man sich ebenfalls des im vorigen §. beschriebenen und Fig. 344 dargestellten schwimmenden Stromes bedienen, dem man dann den stabilen Strom Fig. 345 so nähert, wie es in den oben angeführten Fällen angegeben wurde.

Will man sich aber des Ampère'schen Apparates bedienen, so mufs man in dessen Näpfchen den Leiter *iklno* Fig. 350 einhängen und der unteren Seite des Rechtecks *kl* den stabilen Leiter so

nähern, dafs des letzteren Stromrichtung mit *kl* irgend einen Winkel bildet. Hierzu kann entweder der Fig. 345 dargestellte Stromleiter, den man mit seinen Enden + und — in die Kette einschaltet, oder der aus hinlänglich starkem Kupferdraht bestehende Leiter *qrstu* Fig. 350 und 350ª angewendet werden, durch den dann der Strom seinen Lauf, wie die Pfeile bezeichnen, nimmt, wenn man ihn so, wie es in beiden Figuren angegeben ist, zur Schliefsung der Kette verwendet. Nach Figur 350 würde *kl* und *st* angezogen, nach Figur 350ª aber abgestofsen werden.

Sollen aber die Wirkungen sich kreuzender Ströme an diesem Apparate nachgewiesen werden, so mufs dann der bewegliche Leiter Fig. 351 in die Quecksilbernäpfchen eingehangen und unter dessen unterem Stromtheil *kl* der Stromleiter Fig. 345 oder einer der Stromleiter *ts* oder *rs* Fig. 350 und 350ª so placirt werden, dafs sich beide Stromrichtungen kreuzen. — Eben so nimmt auch der kreisförmige bewegliche Leiter Figur 352ᵇ, wenn er in die Näpfchen eingehangen wird, eine solche Stellung an, bei welcher der in seinem unteren Theile fliefsende Strom mit dem unter ihm weggeleiteten gleiche und parallele Richtung erhält.

Zur Anstellung des letzteren Versuchs läfst sich auch ein einfacher Apparat, wie ihn die Figur 353ª im Durchschnitt und Figur 353ᵇ im Grundrifs darstellt, anwenden. In der Holzplatte *AB* befindet sich eine kreisförmige Rinne, welche diametral durch die zwei isolirenden Scheidewände *a* und *b* in zwei Hälften getheilt ist. Eine im Centro *r* dieser Rinne stehende Stahlspitze dient dazu, eine leichte Kupfernadel *cd* mittels eines Achathütchens aufzustellen, welche sich abwärts in zwei Stahlspitzen endigt, die in das Quecksilber hineinreichen müssen, welches in die Rinne gegossen wird. Unter dieser Nadel befindet sich noch eine zweite *ef*, deren abwärts gebogene Enden gleichfalls in das Quecksilber hineinreichen, und die mit der Hand verschoben werden kann. Der Strom geht von der Schraubenhülse *p* in die eine Rinne, dann durch die beiden Nadeln in die andere und kehrt von der Hülse *m* aus zur Kette zurück. Abstofsung tritt ein, wenn man den Nadeln die Stellung Figur 353ᵇ giebt, Anziehung aber, sobald man durch Drehung des Stromleiters *ef* den Winkel *erd* verkleinert.

§. 356.

Zwei hinter einander in derselben Richtung fortfliefsende Ströme, so wie die verschiedenen Theile eines und desselben Stromes, stofsen sich gegenseitig ab. Wirk-

ung so eintreten mufs, ergiebt sich aus den im vorigen §. erklärten Erscheinungen; denn sobald die Winkel zwischen den beiden Strömen *ab* und *cd* Fig. 354 sehr stumpf sind, so stofsen sich *b* und *c* ab, mithin auch dann noch, wenn *ab* und *cd* in gerader Linie liegen.

Versuch. Diesen Satz hat **Ampère** mittels des in Figur 355 dargestellten Apparates experimentell zu beweisen versucht. Es besteht derselbe aus einem länglich viereckigen Kasten *AB*, der noch durch eine nicht leitende Scheidewand *cd* der Länge nach in zwei parallele Fächer getheilt ist. Der hinlänglichen Isolirung wegen ist es gut, wenn diese Fächer noch mit einer dicken Schellacklösung überzogen werden. Setzt man das eine dieser Fächer *a* mit dem positiven, das andere *b* mit dem negativen Pole einer einfachen Kette in leitende Verbindung, und bringt man auf das Quecksilber als beweglichen Leiter einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht *efgh*, der so gebogen ist, dafs er von einem Fache in das andere hinüber reicht, und dafs sich in jedem noch ein horizontaler Arm befindet, welcher zur Scheidewand parallel läuft, an seinem rein metallischen Ende aber etwas abwärts gebogen ist, so wird durch diesen die Kette geschlossen. In dem Augenblicke, wo die Schliefsung eintritt, sieht man auch, dafs sich der auf dem Quecksilber schwimmende Leiter von den Polenden *a* und *b* fortbewegt.

§. 557.

Sobald zwei unbewegliche Ströme von gleicher Intensität dicht und parallel in entgegengesetzter Richtung neben einander fliefsen, wie Fig. 356 *A* darstellt, so ist dann ihre combinirte Wirkung auf einen beweglichen Strom Null, oder die Wirkung des einen Stromes hebt die des anderen auf. Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn der eine dem anderen entgegenfliefsende Strom krummlinig ist, wie durch die Figur 356 *B* versinnlicht wird.

Versuch. Von der Richtigkeit des Angeführten überzeugt man sich, sobald man durch einen, wie Fig. 256 *A* oder 356 *B*, gebogenen Kupferdraht, der sich aber nirgends metallisch berühren darf, einen Strom leitet und ihn dann zu einem be-

weglichen, ebenfalls durchströmten Leiter in eine solche Lage bringt, dafs er auf letzteren irgend eine der vorher angeführten Wirkungen ausüben müfste. Man wird dann sehen, dafs alle Action auf dem beweglichen Leiter ausbleibt.

§. 558.

Wenn ein beweglicher elektrischer Strom *ab* Fig. 357 *A* und *B* eine rechtwinkelige Stellung gegen einen anderen unbeweglichen *wo* hat, so wird letzterer gegen *ab* (nach § 555) auf einer Seite anziehend, auf der anderen abstofsend einwirken müssen (*a*). Fliefst der Strom *ab* von *wo* hinweg, wie *Fig.* 357 *A*, so wirkt die Stromkraft von *w* und *o* aus auf den Punct *s* des beweglichen Leiters, so wie die Pfeile *sx* und *sy* anzeigen. Sie ergeben die Resultirende *sr*, wodurch der Strom *ab* das Bestreben erhält, in der Richtung des unbeweglichen fortzurücken. Geht dagegen der bewegliche Strom *ab* nach dem unbeweglichen *wo* hin, wie in *Fig.* 357 *B*, so liegt die Resultirende *sr* nach der entgegengesetzten Seite, und der bewegliche Strom *ab* mufs in diesem Falle das Bestreben zeigen, dem unbeweglichen entgegenzurücken.

a.) Den beweglichen Strom, der nur nahe bis zu dem Scheitel des Winkels geht, den er mit dem anderen Stromleiter bildet, pflegt man auch den begrenzten, den unbeweglichen aber, der zu beiden Seiten des Winkelscheitels auf unbestimmte Weite fortläuft, oder auch in sich zurückkehren kann, wobei im ersteren Falle die Wirkungen seiner Enden nicht mehr in Betracht kommen, den unbegrenzten Strom oder Leiter zu nennen.

Auf diesem Gesetz der Anziehung und Abstofsung beruht auch die Rotationsbewegung von dergleichen Strömen um einander. Ist z. B. der Strom *wo*, wie die Fig. 358 *A* darstellt, ein horizontal liegender Kreisstrom, so rotirt der von ihm aufwärts fliefsende bewegliche Strom *ab* in der Stromrichtung von *wo*, ein gegen *wo* hin [illegible]nder *ba* *Fig.* 358 *B* aber der Stromrichtung von *w* [illegible] ist

ferner *ab* Fig. 359 ein geradliniger Strom, der um den Mittelpunct des Kreisstromes *oswn*, in dessen Ebene er liegt, drehbar ist, so erfolgt die Rotation in der Richtung des Kreisstromes, wenn in *ab* die Stromrichtung von der Peripherie zum Mittelpuncte geht, wie dieſs aus Fig. 359 *A* folgt; sie tritt aber in der entgegengesetzten Richtung ein, sobald in *ab* der Strom vom Mittelpuncte *a* zur Peripherie fliefst, wie sich aus Fig. 359 *B* ergiebt. Eben so muſs auch, nur in vermindertem Grade, eine Rotation des Stromes *ab* eintreten, wenn in seiner Nähe der geradlinige Strom *ow* Fig. 360 vorbeigeht. Denn läuft *ab*, wie es in dieser Figur durch den Pfeil angedeutet ist, parallel und in gleicher Richtung mit dem Strome *ow*, so muſs zwischen beiden Strömen Anziehung stattfinden, wodurch *b* nach b^1 geführt wird. In dieser Stellung aber wird nun ab^1 von *on* abgestoſsen, von *nw* angezogen; der bewegliche Leiter ab^1 muſs also seinen Weg bis b^2 fortsetzen. Ist er aber hier angelangt, so tritt Abstoſsung zwischen den parallelen entgegengesetzten Strömen ba^2 und *ow* ein; dann in b^3 wieder Anziehung von *on*, so daſs der Strom *ab* fortwährend rotiren muſs. Geht der stabile unbegrenzte Strom *ow* in der Richtung von Ost nach West, und befindet sich der bewegliche Strom auf dessen nördlicher Seite, so muſs sich letzterer, wie der gekrümmte Pfeil in Fig. 360 anzeigt, in der Richtung von Ost durch Süd nach West u. s. f, also wie die Zeiger einer Uhr, um *a* drehen.

Es sind mancherlei Apparate construirt worden, mittels welcher sich diese Rotationen eines beweglichen Leiters durch einen unbegrenzten geradlinigen oder Kreisstrom hervorbringen lassen, von welchen hier nur einige der vorzüglichsten und einfachsten beschrieben werden sollen.

Erster Versuch. Rotation eines Verticalstromes um einen horizontalen Kreisstrom. — Den hierzu von Pineau angegebenen einfachen Apparat (Pogg. Annal. XXXVI,

549) stellt Fig. 361 dar. Es besteht derselbe zunächst aus einem amalgamirten Zinkcylinder *zz*, der einen angelötheten Kupferdraht *xc* mit darauf befindlichem Näpfchen *c* trägt, in welches etwas Quecksilber gebracht wird. Den Boden des Näpfchens bildet ein Glas- oder Achatplättchen mit kleiner Vertiefung, und in dieser ruht mittels einer Stahlspitze *p* der dünne Kupferbügel *kabk*, der sich unten in einem Ringe von demselben Metalle endigt. Der Zinkcylinder wird nun mit diesem drehbaren Stromleiter in ein Glasgefäfs mit schwefelsaurem Wasser gesetzt. Das Ganze ist, so combinirt, eine einfache hydroelektrische Kette, in welcher der Strom vom Zinkcylinder durch den flüssigen Leiter zum Kupferring, und von diesem in den beiden Armen des Kupferbügels, wie die Pfeile in der Figur anzeigen, aufsteigt, und durch die Stahlspitze *p* nach dem Zink zurückkehrt.

Legt man nun auf den oberen Rand des Glasgefäfses das darauf passende Multiplicationsgewinde *M* und verbindet dessen Enden (+ —) mit den Polen einer einfachen constanten Kette, so erfolgt die Rotation der vertical aufwärts gehenden Ströme in der Stromrichtung des Drahtgewindes.

Wird aber statt des Zinkcylinders *z* ein Kupfercylinder, und statt des Kupferringes ein amalgamirter Zinkring angewendet, so geht der Strom in den Armen *ak*, *bk* abwärts, und nun rotirt der Apparat der Stromrichtung in den Drahtgewinden gerade entgegen.

Zweiter Versuch. Rotation eines beweglichen Horizontalstromes um den Mittelpunct eines Kreisstromes. — Hierzu dient ebenfalls der im vorigen Versuche beschriebene Apparat Fig. 361; nur erhält der Zink- oder Kupfercylinder einen ganz kurzen Leitdraht, so dafs sich der Strom von oder zu dem Multiplicatorgewinde radial in horizontaler Richtung bewegt, wie die Pfeile in der nebenstehenden Figur *N* anzeigen, und woraus sich dann auch die Richtung ergiebt, nach welcher die Rotation vor sich gehen mufs.

Will man in dem beweglichen Leiter einen kräftigeren und ausdauernderen Strom, als durch die bei den vorher beschriebenen beiden Versuchen in Anwendung kommende einfache Kette erzeugen, so mufs man den Apparat als eine constante Kette, entweder nach dem Daniell'schen oder Grove'schen Princip (S. 860) combiniren, indem man die beiden als Elektromotoren dienenden Metalle durch eine in das Glasgefäfs gestellte poröse Thonzelle von einander trennt und dann für sie die entsprechenden Erregungaflüssigkeiten anwendet.

Dritter Versuch. Rotation des flüssigen Leiters um einen Kreisstrom. — Die Stelle des festen Leiters kann auch der flüssige vertreten, d. h. wenn ein solch

tallischer Leiter wie beim vorigen Versuche nicht vorhanden ist, so kommt statt seiner die Erregungsflüssigkeit in rotirende Bewegung. Hierzu läfst sich derselbe Apparat Fig. 361 benutzen, indem man nur nöthig hat, statt des beweglichen Kupferringes einen offenen Kupfercylinder, der sich an die innere Wandfläche des Cylinderglases anschliefst, in dieses einzusetzen. Wird das Glasgefäfs mit einer entsprechenden Erregungsflüssigkeit *) gefüllt, so geht der Strom vom Zinkcylinder zum Kupferring, also radienförmig vom Mittelpuncte zur Peripherie. Umgiebt man nun den Glascylinder mit dem Multiplicatorgewinde *M*, dessen Enden mit den Polen einer einfachen Kette verbunden werden, so beginnt bei Schliefsung der Kette augenblicklich die Rotation der Flüssigkeit nach dem schon bekannten Gesetze. — Durch leichte, auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmende Körper wird die Bewegung noch deutlicher sichtbar.

Vierter Versuch. Rotation eines Horizontalstromes durch Einwirkung eines unbegrenzten Stromleiters. Diese Erscheinung tritt ein, sobald man dem beim zweiten Versuche angewendeten Horizontalstrom einen geradlinigen Stromleiter, z. B. eine Seite des Multiplicatorrähmchens Fig. 345, nähert.

Fünfter Versuch. Rotation eines Kreisstromes durch Einwirkung radialer Horizontalströme. Es ist dieſs die von Savart angegebene interessante Umkehrung des zweiten Versuches, wobei der Kreisstrom des Multiplicatorgewindes ganz wegfällt. Den hierzu dienenden Apparat zeigt Fig. 362; *kk* ist nämlich ein ringförmig gestaltetes Gefäfs von Kupfer- oder Messingblech, dessen Boden mit einer isolirenden Firnifsschicht überzogen werden muſs, und welches in einen ausgedrehten Falz des hölzernen Fufsgestelles *AB* zu stehen kommt. Im Centro *r* dieses Bretchens steht vertical eine Kupfersäule, die oben mit einem Quecksilbernäpfchen *q* versehen ist, und von *r* aus geht ein ins Holz eingelassener Kupferstreif, der bei *p* in eine Schraubenhülse endigt, während an der äufseren Wand des Kupfergefäfses eine ähnliche Schraubenhülse *m* angebracht sein muſs. Der bewegliche Stromleiter besteht aus einem schmalen, ringförmigen Kupferstreif *abdc*, der zwischen *ac* offen ist und dort durch einen schlechten Leiter, z. B. ein Stückchen Horn, verbunden wird. An dem kupfernen Bügel *lsn* besteht der Streif *n* ebenfalls aus einer

*) Fechner empfiehlt dazu eine Mischung von Salmiakwasser und Säure (Salzsäure), und um den Strom noch mehr zu verstärken, soll man auf dem Kupfercylinder Salmiaklösung eintrocknen lassen (s. Fechner's Rep. d. Epp. Phys. II, 69).

nicht leitenden Substanz, und mittels der Stahlspitze *s*, welche in das Näpfchen *q* zu stehen kommt, ist der Ring um die Axe *qr* drehbar. Soll der Apparat in Wirksamkeit gesetzt werden, so gießt man zur Stromleitung in das ringförmige Gefäfs schwefelsaures Wasser und verbindet die beiden Schraubenhülsen *p*, *m*, mit den Polen einer einfachen Kette von constanter Wirkung. Tritt nun, wie es in der Figur durch die Pfeile angezeigt ist, der Strom bei *p* ein, so steigt er in der Säule *rq* hinauf, in dem Streif *l* des Bügels nieder, und durchläuft das Kupferband in der Richtung von *a* über *b* nach *d* und *c*. Von allen Puncten des Bandes aus gehen aber zugleich Ströme, wie *ax*, *cy* andeuten, in radialer Richtung nach dem Umfange des Gefäfses durch den flüssigen Leiter. Diese partiellen Ströme in der Flüssigkeit können als feste in Bezug auf den beweglichen Kupferring betrachtet werden, der in diesem Falle in der Richtung *abdc*, also wie der Zeiger einer Uhr, rotiren mufs. — Soll er den entgegengesetzten Lauf annehmen, so mufs man den Arm *l* des Bügels bei *c* an das Kupferband befestigen, wie aus der nebenstehenden Figur R zu ersehen ist.

§. 559.

Denkt man sich einen Draht schraubenförmig gewunden, so wie Fig. 363 zeigt, und innerhalb dieser Spirale den Draht geradlinig zurückgeführt, so hat man bei einem durch ihn geleiteten elektrischen Strome eine dreifache Richtung zu unterscheiden. Tritt nämlich der Strom bei *a* in den Leiter, so geht er wiederholt kreisförmig um die gerade Linie *cb* herum, wodurch er in der Richtung von *a* nach *b* fortschreitet, und bei *b* angelangt, kehrt er durch den geradlinigen Theil des Stromleiters innerhalb der Spirale von *b* nach *c* zurück. Die Wirkung des Stromes in der Richtung von *a* nach *b* mufs sich durch die in der Richtung desselben von *b* nach *c* compensiren, nach dem § 557 erläuterten Satze, so dafs hiernach nur noch die Wirkung des Stromes übrig bleibt, die ihm zukommt, insofern er sich kreisförmig um *cb* bewegt. Eine solche lineare Reihe von Kreisströmen, die man nahe als senkrecht zur Axe *cb* des spiralförmigen L kann, nennt man eine elektrodynamis

einen elektrodynamischen Cylinder, oder nach Ampère ein Solenoid.

Der Kürze wegen, so wie auch noch in Bezug auf andere Anwendungen solcher Spiralen möge das Ende S, wo der sie begrenzende Kreisstrom von links nach rechts fliefst, oder sich wie der Zeiger an einer Uhr fortbewegt, ihr Südpol, das andere N, an welchem der Kreisstrom in entgegengesetzter Richtung, also von rechts nach links fliefst, wenn man ihn vor sich hält, der Nordpol heifsen.

Ist ein solches Solenoid in einer Horizontalebene frei beweglich, so mufs es, wenn in der Richtung der Axe über oder unter demselben, ein geradliniger Strom weggeht, nach § 555, eine solche Stellung annehmen, dafs die in ihm horizontal fliefsenden Stromtheile, welche dem geradlinigen Strome die nächsten sind, mit diesem eine gleiche Richtung annehmen. — Wird hierbei das Solenoid in eine solche Stellung gebracht, dafs dessen Axe SN im magnetischen Meridiane liegt, so wird man finden, dafs, wenn dem geradlinigen Stromleiter über oder unter ihr die verschiedenen Stellungen gegeben werden, welche derselbe gegen die polare Stellung einer Abweichungsnadel erhalten kann, wie § 551 S. 1020 angeführt wurde, die Ablenkungen ganz nach denselben Gesetzen wie bei einer solchen Magnetnadel eintreten.

Erster Versuch. Hängt man das Solenoid Fig. 364 in dem Ampère'schen Gestelle auf und leitet durch dieses einen Strom, während ein anderer oder derselbe durch den unter jenem befindlichen geradlinigen Leiter *ow* weggeht, so nimmt dessen Axe SN in allen Lagen, die man dem geradlinigen Stromleiter geben mag, eine die Richtung von *ow* senkrecht durchschneidende Stellung an, und zwar so, dafs die horizontalen Ströme in dem unteren Theile von SN gleiche Richtung mit dem Strome in *ow* erhalten.

Zweiter Versuch. Setzt man die kleine mit einem De-la-Rive'schen Schwimmer verbundene elektrodynamische Spirale Fig. 365 auf eine stark gesäuerte Flüssigkeit und leitet über sie, in der Richtung ihrer Axe, einen Strom hinweg, so wird sich diese Spirale ebenfalls so drehen, dafs sie gegen den geradlinigen Strom die gesetzliche Stellung einnimmt.

Zur besseren Versinnlichung des im Vorhergehenden Erklärten, so wie auch des im nächsten Capitel Folgenden, sind zwei Holzcylinder sehr nützlich, auf welchen, wie in der Fig. 366 angedeutet ist, die Richtung der Kreisströme durch Pfeile bezeichnet worden ist.

C. Wirkung der Magnete auf elektrische Ströme.

§. 360.

Eben so, wie ein elektrischer Strom die Magnetnadel aus ihrer polaren Stellung ablenkt, wirkt auch ein Magnet ablenkend auf einen beweglichen Leiter ein, durch den ein solcher Strom fliefst. Denkt man sich nämlich den Magnet fest, den Strom aber drehbar und zwischen dem Magnet und Beobachter befindlich, so nimmt dieser stets gegen die Axe des Magnets eine solche rechtwinkelige Stellung an, dafs dessen Nordpol zur Linken der Stromrichtung liegt.

Die verschiedenen Lagen, welche hierbei die Richtung des Stromes gegen die Axe des Magnets nehmen kann, sind folgende:

1) Geht der Strom von Süd nach Nord, oder umgekehrt unter der Axe des Magnetes weg, so stellt er sich in beiden Fällen so, dafs er von Ost nach West fliefst.

2) Geht der Strom aber von Süd nach Nord, oder umgekehrt über der Axe des Magnetes fort, so nimmt dann die Stromrichtung stets die Stellung von West nach Ost an.

3) Fliefst unter einem im magn[illegible]n Meridiane liegenden Magnetstabe ein Strom von [illegible]ch West, so wird seine Lage vom [illegible] nicht [illegible] von West nach Ost, [illegible] dafs er in die Ri[illegible] kommt. — Die [illegible] bald der Strom [illegible]

Erster Versuch. Um die Bewegungen eines unter einem Magnetstabe wegfliefsenden Stromes darzustellen, bedient man sich am einfachsten des Fig. 344 dargestellten schwimmenden Stromes, über welchem dann leicht ein kräftiger Magnetstab oder der eine Schenkel eines Hufeisenmagnetes in die verschiedenen Lagen gebracht werden kann.

Zweiter Versuch. Zur Erzeugung der Bewegungen eines über einem Magnetstabe befindlichen Stromes dient dagegen der in dem Ampère'schen Gestelle aufgehangene Leiter Fig. 351, unter dem dann der Magnet in die verschiedenen Lagen gebracht wird.

§. 561.

Dieselben Wirkungen erhält man auch, wenn man sich statt eines Magnetstabes eines Solenoids bedient, wobei sich dann zeigt, dafs nach dem Gesetze der Wirkung elektrischer Ströme auf einander der bewegliche Strom immer die Stellung annimmt, bei welcher er dieselbe Richtung erhält, wie die ihm zugekehrten Kreisströme der Spirale.

Nähert man einer beweglichen elektrodynamischen Spirale einen Magnet, so verhält sich diese ganz wie eine Abweichungsnadel; dieser zieht nämlich die ungleichnamigen Pole der Spirale an und stöfst die gleichnamigen ab.

Versuch. Die Bestätigung dieser Wirkung wird erhalten, sobald man die Pole eines Magnetstabes entweder dem schwimmenden Solenoid Fig. 365 oder dem im Ampère'schen Gestelle aufgehangenen Fig. 364 nähert.

Hierbei kann man sich ebenfalls wieder zu besserer Versinnlichung der zu Ende des § 559 angeführten Holzcylinder bedienen.

§. 562.

Auf die Erscheinungen der Wechselwirkung von Magneten und elektrischen Strömen gestützt, stellte nun Ampère folgende für diese neue Lehre der Physik so wichtig gewordene Hypothese auf, deren auch bereits § 553 Erwähnung geschah. Jede elektrodynamische Spirale kann als ein Magnet angesehen werden, und

jeder Magnet verhält sich in seinen Wirkungen wie eine solche Spirale, d. h. also, wie ein Körper, um dessen Axe in Ebenen, die auf der Axe senkrecht oder nahe senkrecht sind, elektrische Ströme kreisen, von welchen alle sogenannte magnetische Wirkungen abhängen.

Befindet sich ein Magnet in seiner polaren Lage, d. h. mit dem Nordpol nach Nord, mit dem Südpol nach Süd gerichtet, so müssen diese Ströme auf der oberen Seite von West nach Ost, an der Ostseite herabwärts, an der unteren Seite von Ost nach West, und an der Westseite aufwärts gehen; kurz die Umströmungen um Magnete müssen dem scheinbaren täglichen Laufe der Sonne um die Erde entgegengesetzt angenommen werden, wenn sich an ihnen die Einwirkungen elektrischer Ströme, nach dem Gesetze der Wechselwirkung letzterer, bestätigen sollen.

Nach dieser Hypothese finden alle Wechselwirkungen zwischen Magneten und elektrischen Strömen (die Oerstedt'schen Fundamentalversuche § 551, und die in den voranstehenden §§. aufgeführten Erscheinungen) ihre Erklärung durch das Ampère'sche Hauptgesetz der Einwirkung elektrischer Ströme auf einander (§ 554 — 558), und eben so läfst sich auch danach genügend erklären, warum sich die gleichnamigen Pole zweier einander naher Magnete gegenseitig abstofsen, die ungleichnamigen aber sich anziehen müssen. Denn liegen die gleichnamigen Pole zweier Magnete, die durch die beiden Kreise Fig. 367 *A* vorgestellt sein mögen, z. B. die beiden Südpole, neben einander, so ersieht man, dafs die in den Magneten supponirten elektrischen Ströme an den beiden Seiten, wo sich die Pole am nächsten sind, in entgegengesetzter Richtung fliefsen, folglich sich (nach § 554) gegenseitig abstofsen müssen. aber ein Nordpol neben einem Südpole, wie Fig. 367

so sieht man, dafs an den beiden sich nahen Polseiten die Ströme dieselbe Richtung haben und sich deshalb anziehen.

Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Pole zweier Magnete oder statt ihrer die schon mehr erwähnten Holzcylinder gegen einander hält.

Noch mufs bemerkt werden, dafs bei der oben gegebenen Erklärung, als was für einen Körper man sich einen Magnet zu denken habe, nur das Resultat von dessen Wirkung nach aufsen angedeutet wurde. Da aber jeder Magnet sich in seinen kleinsten Theilchen auf gleiche Weise wirksam zeigt, wie schon daraus hervorgeht, dafs jedes beliebige Stück desselben als ein bipolarer Magnet erscheint (§ 442, S. 690), so hat man sich nach jener Annahme auch jedes kleinste Theilchen eines solchen Körpers von einem elektrischen Strome gleichsam eingehüllt zu denken, welcher, es beständig umkreisend, in sich selbst zurückkehrt. Nach dieser Theorie kann man sich daher jeden auf der Axe eines Magnetes rechtwinkeligen Querschnitt ungefähr durch die Figur 368 veranschaulichen. Die elementaren Ströme jedes einzelnen magnetischen Moleculs, wie man sie bei diesem Querschnitte in den kleinen Kreisen angegeben findet, würden sich aber in einem einzigen Kreise vereinen, welcher gleichsam als resultirende Kraft die Aufsenfläche umkreist, und somit könnte man sich auch jene Gesammtwirkung als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken und durch eine solche Figur, wie 366, versinnlichen.

Diese höchst scharfsinnige Theorie, nach der sich so consequent und ungezwungen alle magnetische und elektromagnetische, so wie auch die noch folgenden magnetoelektrischen Erscheinungen erklären lassen, ist aber allerdings noch nicht in jeder Beziehung ganz einwurfsfrei, denn so ist das postulirte Fortbestehen elektrischer Ströme in Magneten nicht vereinbar mit dem allgemeinen Verhalten der Elektricitätsleiter, und solche sind doch die des Magnetismus fähigen Metalle, und dann ist auch noch kein Fall des selbstständigen Fortbestehens solcher Ströme ohne vorhandene elektromotorische Kraft bekannt. Mehre Naturforscher sind daher nicht mit der Ampère'schen Vorstellungsweise vom Wesen des Magnetismus einverstanden, da es manche Erscheinungen giebt, die für die Existenz getrennter magnetischer Fluiden sprechen und sich daher nach jener Theorie nicht völlig befriedigend erklären lassen. (Man vergl. hiermit Weber's Bemerkungen und Versuche, in Poggendorff's

Annal. LII, 355, 379 und das, was in § 446 von den verschiedenen Ansichten über das Wesen des Magnetismus angeführt wurde.)

§. 563.

Wir wissen bereits, aus § 558, unter welchen Bedingungen, nach den Gesetzen der Einwirkung elektrischer Ströme auf einander, ein begrenzter und beweglicher Stromleiter durch einen stabilen unbegrenzten oder Kreisstrom in eine fortschreitende oder rotirende Bewegung versetzt wird. Da nun, nach der Ampère'schen Theorie, jeder Magnet ein von elektrischen Strömen umkreister Körper sein soll, so folgt auch, dafs, wenn diese Annahme richtig ist, ähnliche Bewegungen aus der Wechselwirkung elektrischer Ströme und Magnete entspringen müssen. In der That treten auch unter den angeführten Umständen dem entsprechende Bewegungen ein, und zwar sowohl an beweglichen Stromleitern, als auch an beweglichen Magneten, wenn im ersten Falle der influirende Magnet, im letzteren der einwirkende Stromleiter unbeweglich ist.

Es mögen daher hier von den vielen derartigen Versuchen nur einige der interessantesten angeführt werden, aus welchen zu ersehen ist, in wie weit die Ampère'sche Hypothese vollständige und befriedigende Erklärung für alle elektromagnetische Erscheinungen gewährt.

Erster Versuch. Attractive und repulsive Wirkungen eines Magnets auf einen frei beweglichen Stromleiter. Ein frei beweglicher geradliniger Stromleiter wird von einem Magnete angezogen, wenn der Strom in derselben Richtung fliefst, wie der in der ihm genäherten Seite des Magnets nach der Ampère'schen Theorie. Abstofsung aber erfolgt, wenn der bewegliche Strom die entgegengesetzte Richtung hat.

Ist der bewegliche Stromleiter kreisförmig gestaltet, so wird er von dem genäherten Pole eines Magnetes angezogen, wenn der in letzterem supponirte Strom in derselben Richtung sich bewegt, abgestofsen dagegen, wenn selbiger in entgegengesetzter Richtung kreist.

Um dieſs zu beweisen, eignen sich die De-la-Rive'scher

schwimmenden Ströme am beſten. — Nähert man z. B. dem Strome *st* Fig. 344, wenn dieser von links nach rechts fließt, den Nordpol eines Magnetstabes, so daſs der Strom über demselben fort geht, so bewegt sich letzterer über den Magnetstab nach dem Südpol hin. Wendet man aber auf gleiche Weise den Südpol an, so wird der Strom abgestoſsen. — Gerade die entgegengesetzten Bewegungen treten ein, wenn man den Magnetstab so über den Leiter hält, daſs der Strom die magnetische Axe rechtwinkelig durchschneidet.

Verbindet man den kreisförmigen Leiter Fig. 369 mit dem hydroelektrischen Schwimmer Fig. 344, so wird derselbe, bei der bezeichneten Stromrichtung und Lage, von dem genäherten Nordpole eines Magnetes auf dieselbe Weise wie der geradlinige Leiter angezogen, vom Südpole dagegen abgestoſsen.

Zweiter Versuch. Faraday's Rotationsapparat für einen verticalen Stromleiter um den Pol eines fixen Magnetes, so wie eines Magnetpoles um einen feststehenden verticalen Stromleiter. Die Fig. 370 stellt diesen Apparat im senkrechten Querdurchschnitt vor. Auf der hölzernen Säule *g* ist der horizontale nicht zu schwache Kupferdraht *def* befestigt. Vom Ende *f*, welches sich in einen Haken endigt, hängt mittels einer Oese der dadurch frei bewegliche feine Platindraht in die darunter befindliche mit Quecksilber gefüllte hölzerne Büchse *b* herab; am anderen Ende *d* ist der Platindraht *c* angelöthet, der lothrecht bis zu dem Quecksilber in der Büchse *a* herabgeht. Im Centro des Gefäſses *b* befindet sich das aufrecht stehende Magnetstäbchen *n*, wozu eine magnetisirte Nähnadel dienen kann, und welches in ein kupfernes Röhrchen eingesteckt wird, das durch den Boden jenes Gefäſses geht. Damit der Platindraht *h* diesen Magnetstäbchen nicht leitend berühren kann, muſs an seinem unteren Ende eine kleine Glasperle *p* aufgeschoben werden. Im Boden der Büchse *a* dagegen ist eine magnetisirte Nähnadel *m*, durch einen feinen Platindraht oder Faden beweglich, befestigt; auch kann diese, durch ein über sie verschiebbares Stückchen Spirale von Platindraht, zum verticalen Schwimmen im Quecksilber gebracht werden. Von den beiden Schraubenhülsen *k* und *z* aus, die durch Kupferdrähte mit den beiden Quecksilbergefäſsen *a* und *b* in leitender Verbindung stehen, wird der Apparat mit den Polen einer constanten Kette vereint. Sobald auf diese Weise die Kette geschlossen ist, circulirt der Strom durch die ihm gebotene Leitung, wie nach der Figur die Verbindung angenommen ist, in der Richtung der Pfeile, und sind die Nordpole der beiden Magnete nach oben gerichtet, so umkreist der bewegliche Leiter *h* den Magnetpol *n* in der Richtung, wie sich die Zeiger einer Uhr bewegen, der bewegliche

Magnetpol *m* aber den festen Stromleiter *c* gerade entgegengesetzt. — Kehrt man die Stromrichtung um, oder läfst man statt des Nordpoles den Südpol der Magnete nach oben stehen, so nimmt auch die Rotation die umgekehrte Richtung an. (S. Gilbert's Annal. LXXII, S. 113.)

Dritter Versuch. Rotation eines Magnetes um seine eigene Axe. Einen hierzu dienenden einfachen Apparat stellt Fig. 371 dar. Es besteht derselbe zunächst aus einer gegen 3 Zoll langen, etwa 1 Zoll weiten Glasröhre *ab*. Ihre untere Oeffnung wird mit einem Kork verschlossen, durch dessen Mitte ein Eisendraht geht, der oben etwas hervorragt und sich in eine Spitze *e* endigt. Das untere Ende dieses Drahtes ist in eine Kupferplatte gelöthet oder geschraubt, die mit der Schraubenhülse *z* in leitender Verbindung steht. In die obere Oeffnung der Glasröhre kommt ein aufgeschnittener und dadurch federnder Kupferring *bc*, der von *c* aus mit der anderen Schraubenhülse leitend verbunden ist. Die Glasröhre wird nun bis zu dem Kupferringe mit Quecksilber gefüllt, und in dieses ein an seinen beiden Enden abgerundetes Magnetstäbchen *sn* eingetaucht, bis dieses den Eisendraht *e* berührt, wo es dann durch die magnetische Anziehung an diesem festhält. Das Magnetstäbchen mufs dann mit seiner halben Länge über dem Quecksilber hervorragen, in welchem es jetzt, da es der Eisendraht nur in einem Puncte berührt, um seine Axe vollkommen freie und leichte Beweglichkeit besitzt. Werden hierauf die Schraubenhülsen mit den Polen einer kräftigen constanten Kette verbunden, so beginnt die drehende Bewegung des Magnetes um seine Axe. — Geht der Strom, wie es in der Figur angenommen ist, vom Kupferringe *cb* durch das Quecksilber zum Magnetstabe, so erfolgt dessen Rotation in derselben Richtung, wie ihn seine elektrischen Ströme umkreisen; wechselt man aber die Richtung des Stromes, so dafs dieser vom Magnet zum Kupferring läuft, so dreht sich der Magnet seinen ihn umkreisenden Strömen entgegen. Dafs diese Bewegungen so erfolgen müssen, ergiebt sich nach dem Ampère'schen Gesetze der Wirkung elektrischer Ströme auf einander (§ 558), was auch noch die Fig. 371 *a* und 371 *b* deutlicher machen werden.

Vierter Versuch. Schweigger's Rotationsapparate, bei welchen Horizontalströme durch den Pol eines Magnetes in kreisende Bewegung gerathen. In der Figur 372 stellt *gh* den Durchschnitt einer hölzernen Scheibe mit der ausgedrehten Kreisrinne *rr* zur Aufnahme von Quecksilber dar. Durch den Mittelpunct der Scheibe geht der Kupferdraht *s*, der oben mit einer feinen [illegible]spitze versehen wird. Auf dieser ruht mittels des [illegible] *v* die möglichst leichte, gegen 4 Zoll lange F[illegible]

einem krumm gebogenen Ende von Platin, welches in das Quecksilber der Rinne zu tauchen hat, und einem kleinen Gegengewichte *n*, welches das längere Ende balanciren soll. Sobald man die Schraubenhülse *k*, welche mit dem Quecksilber in Verbindung steht, mit dem positiven, die Hülse *z* aber, die mit dem Kupferdraht *t* communicirt, mit dem negativen Pole einer constanten Kette verbindet, wird diese geschlossen, und ihr Strom fliefst dann von *a* nach *v* durch die Nadel. Schiebt man unter die Scheibe, über welcher der bewegliche Stromleiter schwebt, einen Magnetstab *SN*, so geht die Drehung von jenem, wenn *S* der Südpol des Magnetes ist, von Ost durch Süd nach West und Nord vor sich, in entgegengesetzter Richtung aber, wenn der Nordpol unter den Stromleiter gebracht oder dem Strome die umgekehrte Richtung ertheilt wird.

Zwei Nadeln, welche von einem Strome in entgegengesetzter Richtung durchlaufen werden, nehmen unter dem Einflusse desselben Magnetpoles entgegengesetzte Drehungen an. Dazu dient der Fig. 373 abgebildete Apparat. *ab* ist der Durchschnitt einer runden Holzscheibe, die in der Mitte durchbohrt ist, um sie auf den Pol eines Magnets schieben zu können. Concentrisch mit dem Loche sind in der Scheibe zwei Kreisrinnen eingedreht, bestimmt zur Aufnahme von Quecksilber oder einer gesäuerten Flüssigkeit. Ueber dem Centro dieser Rinnen, und zwar auf den Stahlspitzen des kupfernen Leiters *abcdef*, balanciren zwei leichte Nadeln von Kupfer, wie sie schon im vorigen Versuche näher beschrieben sind, die mit ihren Platinenden in die Flüssigkeiten der Rinnen eintauchen. Werden nun die beiden Schraubenhülsen *k* und *z* mit den Polen der hydroelektrischen Kette verbunden, und tritt ihr Strom bei *k* ein, so durchläuft derselbe die ganze Leitung des Apparates in der Richtung, wie sie die Pfeile angeben. Vergleicht man diese Richtung mit der, in welcher der präsumirte Strom den Magnetpol *S* umkreist, so wird sich aus dem mehrerwähnten Gesetze ergeben, nach welcher Richtung sich jede der zwei Nadeln drehen, und dafs die Rotation der einen der der anderen entgegengesetzt sein mufs. — Aenderung der Stromrichtung, so wie des einwirkenden Magnetpoles, bewirkt auch hier die Drehung der Nadeln in gerade umgekehrter Richtung.

Fünfter Versuch. Ampère's Apparat für die Rotation der Elektromotoren einer einfachen hydroelektrischen Kette um die Axe eines Magnetes. Auf die beiden Pole eines Hufeisenmagnetes Fig. 374 setze man zwei ringförmige Cylindergefäfse von Kupfer. In das mit jedem Gefäfse verbundene Näpfchen *n*, worin sich ein Tropfen Quecksilber befindet, bringt man die Stahlspitze eines an einen dünnen Kupferbügel gelötheten schwachen amalgamirten Zink-

ringes, wie Fig. 361 *N*. Gießt man nun in die Gefäße eine stark gesäuerte Flüssigkeit (1 Theil Schwefelsäure und 4 bis 6 Theile Wasser), so geht der Strom in der dadurch entstandenen einfachen Kette vom Kupfercylinder zum Zinkring, indem er von dessen Drehpunct *s* aus, in dem horizontalen Theile des als Stromleiter fungirenden Kupferbügels, excentrisch nach *d* und *b* läuft, dann in den zur Axe parallelen Theilen der Leitung herabsteigt und von da, aus dem Zinkringe, durch die leitende Flüssigkeit zum Kupfer zurückkehrt, während die um die Magnetpole kreisenden Ströme horizontal fließen. Um den Nordpol rotirt dann der bewegliche Leiter von Ost durch Nord nach West, um den Südpol von West durch Nord nach Ost; beide drehen sich also in entgegengesetzter Richtung und den Strömen der Magnetpole entgegen.

Wendet man statt der Kupfergefäße dergleichen von Zink, und statt des beweglichen Zinkringes einen solchen von dünnem Kupferblech (noch wirksamer aber von ganz schwachem Platinblech) an, so geht der Strom in den zur Axe des Magnets parallelen Theilen der Leitung aufwärts, und die Rotation erfolgt in der Richtung der Ströme der Magnetpole.

Sind die Cylindergefäße so weit, daß sie die Magnetpole mit einem Spielraume umschließen, und wird ihnen ebenfalls durch eine Stahlspitze, mit der sie auf den Polen des Magnetes ruhen, Beweglichkeit zu Theil, so beginnen auch diese sich zu drehen, wenn der Magnet kräftig genug ist, und zwar, aus schon bekannten Gründen, in entgegengesetzter Richtung wie die Ringe.

Sechster Versuch. Barlow's zwischen den Polen eines Hufeisenmagnetes rotirendes Rädchen. Ein leichtes sternförmig ausgeschnittenes Rädchen von dünnem Kupferblech (ungefähr 3 bis 3½ Zoll im Durchmesser), ist, um eine in feine Spitzen sich endigende Axe von Stahl, in den Zapfenlagern des gabelförmig gestalteten kupfernen Leiters *ab* Fig. 375 drehbar. Unter dem Rädchen befindet sich in dem Brete *WO* eine Vertiefung *q*, welche mit so viel Quecksilber angefüllt wird, daß die Spitzen des Rädchens dasselbe gerade berühren. *k* und *z* sind Schraubenhülsen, wovon erstere mit dem gabelförmigen Leiter, letztere mit dem Quecksilber in Verbindung steht. Wird nun von diesen aus, indem man sie mit den Polen einer hinlänglich kräftigen constanten Kette verbindet, der Strom durch das bewegliche Rädchen geleitet, so beginnt dessen Rotation, sobald ihm die Pole eines starken Hufeisenmagnetes in horizontaler oder verticaler Lage so genähert werden, daß das Rädchen zwischen [illegible]n steht kommt. In welcher Richtung diese Drehun[illegible]auf ergiebt sich, nach dem mehrerwähnten Gesetz

Strom, der entweder vom Mittelpuncte des Rädchens zur Peripherie oder umgekehrt geht, mit der Richtung der um die Magnetpole kreisenden Ströme vergleicht. Liegt die Fläche des Rädchens, wie es in der Figur 375 angenommen ist, von West nach Ost, erhalten die Schenkel des Magnetes dieselbe Richtung, wobei der Nordpol seine Lage nördlich, der Südpol südlich von der Radfläche erhält, und tritt der Strom bei *k* in die Leitung, so geht derselbe, wie auch der Pfeil im Rade anzeigt, von dessen Mitte zum Quecksilber, und aus der auf gleiche Weise bezeichneten Richtung der Ströme an den Magnetpolen ergiebt sich, dafs bei dieser Zusammenstellung des Apparates die Drehung des Rädchens, wie der Lauf der Zeiger an einer Uhr, erfolgen mufs. — Eben so läfst sich auch leicht, bei entgegengesetzter Stromrichtung oder bei Aenderung der Lage der Magnetpole die Rotationsrichtung bestimmen; besonders wird diese Bestimmung sehr erleichtert, wenn entweder die Stromrichtung auf den Magnetpolen bezeichnet ist, oder wenn man sich eines hölzernen Modelles von einem Hufeisenmagnete bedient, auf dem diese supponirten Ströme eben so wie bei den erwähnten Holzcylindern (§ 559, Fig. 366) angegeben sind.

Siebenter Versuch. Rotation des flüssigen Leiters einer einfachen Kette um die Pole eines Magnetes. Eben so wie durch einen Kreisstrom der flüssige Leiter einer einfachen Kette in kreisende Bewegung versetzt wird (s. den 3. Versuch § 558, S. 1033), so geschieht dieſs auch von jedem Pole eines Magnets. Den von **Fechner** dazu vorgeschlagenen einfachen Apparat stellt Fig. 376 und zwar A im Querdurchschnitt, B in der oberen Ansicht dar. *kzzk* ist nämlich ein ringförmiges Gefäfs von Kupfer, über dessen inneren Cylinder, der auf die Pole eines Hufeisenmagnetes paſst, ein genau anschliefsender Ring von amalgamirtem Zink *zz* geschoben wird. Gieſst man in das ringförmige Gefäfs eine Mischung von Salmiakwasser und Säure, so strömt die positive Elektricität vom Zinkringe durch den flüssigen Leiter zum Kupfer, wie die Pfeile in B anzeigen, und wird das Gefäfs auf den Pol eines Hufeisenmagnetes geschoben, so tritt die Rotation der Flüssigkeit in der Richtung ein, welche die hypothetischen Ströme an den Magnetpolen haben.

Achter Versuch. Rotation eines thermoelektrischen Stromes zwischen den Polen eines Magnetes. Ein um eine verticale Axe beweglicher thermoelektrischer Strom geräth, unter dem Einflusse der beiden Pole eines Hufeisenmagnetes, ganz nach denselben Gesetzen, wie ein hydroelektrischer Strom, in drehende Bewegung; ein abermaliger Beweis für die Identität der aus verschiedenen Quellen entspringenden Elektricität.

Cumming und Marsch bedienten sich, zur Bestätigung des Angeführten, folgender einfachen thermoelektrischen Kette. Zwei in Form eines Rechtecks gestaltete, sich rechtwinkelig kreuzende Thermoketten, combinirt aus schwachem Platin-*) und Silberdraht, geben den beweglichen Leiter ab. Die Fig. 377 stellt dieses thermoelektrische Kreuz dar. In jedem der beiden Rechtecke besteht die eine Hälfte *abcd* und *efgh* aus Platin, die andere *dhik* und *dlmn* aus Silber. Unten bei *a*, *e*, *k*, *n* sind die Drahtenden an einen Ring von Silberdraht hart angelöthet; oben ist in ihrem Durchkreuzungspuncte *d* eine nach unten gekehrte feine Stahlspitze angebracht. Diese kommt, wie die Figur zeigt, in das auf dem lothrechten Träger *op* angebrachte Achathütchen *o* zu stehen, wodurch der ganze Apparat um die verticale Axe *dp* äufserst leicht beweglich wird. Ungefähr 2 Zoll unter dem Ringe erhält der Träger ein kleines Schälchen *p* zur Aufnahme von etwas Baumwolle und Weingeist. Auf diese Weise kommt die drehbare Kette zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnetes zu stehen, von dessen Schenkeln die verticalen Theile des Stromleiters etwa ½ Zoll Abstand haben müssen. Sobald man den Weingeist anzündet, werden die Löthstellen der heterogenen Metalle, bei *a* und *e*, erhitzt, der elektrische Strom beginnt die beiden Ketten in der Richtung zu durchlaufen, wie die Pfeile in der Figur anzeigen, und die auf ihn einwirkenden Magnetpole versetzen ihn zugleich in Rotation. Bei der in der Darstellung angenommenen Lage der Magnetpole mufs sich dann das thermoelektrische Kreuz, nach dem bekannten Gesetze, in der Richtung von links nach rechts, oder von Ost durch Süd nach West drehen (s. Dove's Rep. d. Phys. I, 354).

§. 564.

Sowohl die Wirkung elektrischer Ströme auf einander, als auch die Wechselwirkung solcher Ströme und Magnete, ist nach den Entfernungen, in welchen diese erfolgen, verschieden. Biot, Savart und Schmidt fanden auf experimentellem Wege, dafs die von einem Stromleiter auf eine Magnetnadel ausgehende Gesammtwirkung im umgekehrten Verhältnifs der Entfernung abnimmt, und Laplace bewies

*) Nach Seebeck's thermoelektrischer Spannungsreihe (§ 535) kann man sich aber statt des Platins des noch wirksameren Neusilbers bedienen.

durch Hilfe der Mathematik, dafs die jedem einzelnen Puncte des Stromes entsprechende Wirkung sich umgekehrt wie das Quadrat seiner Entfernung von der Magnetnadel verhält. Da nun bei der Wechselwirkung von Magneten und elektrischen Strömen, so wie dieser unter einander, Action und Reaction in allen bisher bekannten Fällen sich einander gleich und entgegengesetzt zeigten, so läfst sich auch dieses aufgefundene Gesetz für die eben angeführten verschiedenen Fälle der gegenseitigen Einwirkungen als gültig betrachten, und zugleich ersieht man, dafs es ganz dasselbe Gesetz ist, nach welchem die radiale Action der magnetischen und elektrischen Kräfte vor sich geht (s. § 445 und 480).

Biot und Savart haben nämlich die angeführte gesetzliche Wirkung eines Stromleiters auf eine Magnetnadel dadurch ermittelt, dafs sie einen solchen in verschiedenen Entfernungen auf eine Magnetnadel einwirken liefsen, und diese alsdann in Schwingungen versetzten. Aus der beobachteten Anzahl der Schwingungen, die dann die Nadel in gleicher Zeit vollbrachte, leiteten sie, analog wie bei den Pendelschwingungen und bei Bestimmung der Intensität magnetischer Kräfte (s. § 454, S. 740), jenes Resultat ab (s. Eisenlohr's Lehrb. d. Phys, 3. Aufl., S. 619 und Baumgartner's Naturl., 7. Aufl., § 129, S. 437).

D. Wirkung des Erdmagnetismus auf elektrische Ströme

§. 565.

Da, wie im Vorigen gezeigt worden ist, elektrische Ströme auf frei bewegliche Magnete eben so eine richtende Kraft ausüben, wie dieſs von der Erde geschieht, und Magnete auch ganz übereinstimmende Wirkungen auf elektrische Ströme hervorbringen, sobald diese sich frei bewegen können, so war auch zu vermuthen, dafs eine gleiche Wirkung des Erdmagnetismus auf elektrische Ströme stattfinden müsse. Es hat sich dieſs auch wirklich bestätigt, und nach den bis jetzt gemachten Erfahrungen läfst sich diese Einwirkung, nach Eisenlohr, ganz allgemein auf

folgende Art ausdrücken: Der Erdmagnetismus wirkt auf elektrische Ströme gerade so, als wenn die ganze Erde von Ost nach West, parallel mit dem magnetischen Aequator, von elektrischen Strömen umkreist wäre, deren resultirende Kraft durch einen einzigen Strom im magnetischen Aequator vorgestellt werden kann.

Die Ursache der Entstehung dieser hypothetisch angenommenen Ströme hat allerdings mit Evidenz noch nicht nachgewiesen werden können, die angenommene Richtung derselben ist aber gerade dieselbe, in der scheinbar die Sonne sich um die Erde bewegt, und in der ihre Einwirkung, die Erwärmung der Erdoberfläche, progressiv fortschreitet. Da nun aber erwiesen ist, dafs die durch Wärme erregten elektrischen Ströme ganz dieselben Wirkungen, wie die Volta'schen, auf Magnetnadeln ausüben, so glaubt man, dafs die thermische Wirkung der Sonne die Ursache zur Entstehung und Unterhaltung dieser Ströme sein könne. (Man vergl. hiermit § 538.)

§. 566.

Ein in Form eines Rechteckes gestalteter, um eine verticale Axe drehbarer Stromleiter wird durch Einwirkung des Erdmagnetismus stets senkrecht zum magnetischen Meridian, und zwar so gestellt, dafs der Strom in seinem der Erdoberfläche zugekehrten, also in dem unteren Theile, von Ost nach West fliefst, mithin in derselben Richtung, wie die hypothetisch angenommenen Ströme der Erde, was auch mit den § 554 und 555 angeführten Einwirkungen elektrischer Ströme auf einander übereinstimmt.

Versuch. Ein schwimmender, in der Form r
369 a und b gebogener Stromleiter, nimmt eine s
ung von Ost nach West an, sobald der Strom,

die Flüssigkeit, in die seine einfache Kette eintaucht, erregt wird, so kräftig ist, dafs die schwimmende Korkscheibe durch ihn gedreht wird.

Mit mehr Sicherheit erhält man diese Einstellung eines beweglichen Stromleiters, wenn man einen rechteckigen, wie Figur 352 *a*, oder kreisförmigen, wie 352 *b*, in das Ampère'sche Gestelle, Fig. 346, einhängt, und durch ihn einen kräftigen Strom leitet.

Giebt man dagegen einem solchen Stromleiter die Gestalt eines doppelten Rechtecks, wie Fig. 351 zeigt, so dafs der Strom in ihm den durch die Pfeile angedeuteten Weg machen mufs — wobei zu bemerken ist, dafs der an der Stelle *x* sich kreuzende Draht isolirt werden mufs —, so erleidet er in keiner Lage eine Drehung durch den Erdmagnetismus, indem die Wirkungen auf die horizontalen Ströme sich aufheben, und die verticalen sich ebenfalls gegenseitig neutralisiren. — Dieser von Ampère angegebene, sogenannte astatische Leiter verhält sich gerade so, wie eine astatische Magnetnadel (§ 543), und ist zu den in den §§ 554 und 555 bereits beschriebenen Versuchen nöthig, bei welchen nämlich die reinen Wirkungen eines elektrischen Stromes auf einen anderen geprüft werden sollen.

§. 567.

Ist ein rechteckiger Stromleiter um eine durch die Mitte seiner langen Seiten und durch seinen Schwerpunct gehende Axe frei beweglich, und schneidet diese Drehungsaxe den magnetischen Meridian rechtwinkelig, so nimmt der anfänglich wagerechte Stromleiter eine solche geneigte Lage an, bei welcher die Ebene, in der er seinen geschlossenen Lauf zurücklegt, die Richtung der Inclinationsnadel (§ 449) an dem Beobachtungsorte senkrecht durchschneidet, und es zeigt sich dabei, dafs der nach dem Erdäquator sich neigende Stromtheil von Ost nach West, der nach dem Erdpole sich hinwendende dagegen von West nach Ost fliefst, oder dafs der Strom im Ganzen eine solche Lage annimmt, wie die in einer Inclinationsnadel supponirten Ströme um ihre Axe haben müssen.

Versuch. Ein solches elektrisches Inclinatorium kann man sich, nach Eisenlohr, auf folgende Weise anfertigen. Man nimmt ein leichtes Holzrähmchen *abcd* Fig. 378, welches

mit zwei, als Axen dienenden Nähnadeln *o* und *q* versehen ist, um die es sich leicht drehen kann. Das Rähmchen umwindet man mehrmals mit übersponnenem Kupferdraht in der Richtung *abcd* und verbindet das eine Ende metallisch mit dem Axzapfen *o*, das andere mit dem *q*. Diese Axzapfen werden nun in die an den oben umgebogenen Metallsäulen *pr* und *mt* des Stativs angebrachten, rein metallischen und gut polirten Pfannenlager *r* und *t* eingelegt, wobei der Schwerpunct des Apparates so geregelt werden muſs, daſs das Rähmchen eine horizontale Lage annimmt. — Giebt man jetzt dem Ganzen eine solche Stellung, daſs die Drehungsaxe senkrecht zum magnetischen Meridiane steht, und verbindet man die beiden Schraubenhülsen *p* und *m* mit den Polen einer kräftigen, constanten Kette, so nimmt das Rähmchen in dem Augenblicke, wo der Strom den Draht zu durchflieſsen beginnt, die vorher angegebene Lage an. Um dabei zugleich die Lage der Inclinationsnadel zu bezeichnen, kann man noch in der Mitte des Rähmchens die von Kartenpapier geschnittene Nadel *sn* so befestigen, daſs sie die Ebene von jenem senkrecht durchschneidet.

Bei einem hinlänglich starken Strome *k* erhält man dasselbe Resultat auch mit einem einfachen Drahtleiter, der wie Fig. 379 gebogen und bei *x* und *y* isolirt unter sich befestigt ist, sobald man ihn mit seinen Axen *a* und *b* in die Pfannenlager des Stativs Fig. 378 bringt.

Der Reibung halber ist es aber schwierig, es dahin zu bringen, daſs diese beweglichen Stromleiter immer genau die richtige Stellung annehmen. Wenn daher auch der oben aufgestellte Satz durch den Versuch nicht in aller Strenge seine Bestätigung findet, so ist er doch durch die Gesammtheit aller übrigen Beobachtungen als erwiesen zu betrachten.

§. 568.

Jedes hinlänglich leicht bewegliche Solenoid, durch welches ein kräftiger elektrischer Strom geht, muſs daher, durch den Einfluſs des Erdmagnetismus afficirt, eine solche Stellung zu den Weltgegenden annehmen, daſs die in ihm fortlaufenden Kreisströme unten von Ost nach West, und an der Ostseite abwärts flieſsen, oder daſs sich bei ihm sein Nordpol (m. s. § 559) nach Norden, sein Südpol nach Süden richtet.

Versuch. Dafs eine elektrodynamische Spirale das Bestreben hat, die bezeichnete polare Stellung anzunehmen und darin zur Ruhe zu kommen, davon kann man sich überzeugen, sobald man die Figur 364 dargestellte elektrodynamische Spirale in dem Ampère'schen Gestelle so aufhängt, dafs ihre Pole nach Ost und West gerichtet sind. — Sobald sie in dieser Lage von einem hinlänglich starken Strome durchflossen wird, fängt sie an sich zu drehen, um nach einigen Schwankungen in der polaren Stellung zu verharren.

Dasselbe Resultat kann auch mit dem schwimmenden Solenoid Fig. 365 erhalten werden, wenn nur der Strom so kräftig ist, dafs durch ihn der Widerstand der Flüssigkeit bei der Drehung des Apparates überwunden wird.

Auf gleiche Weise müfste auch ein Solenoid, welches in seinem Schwerpuncte um eine auf der Ebene des magnetischen Meridianes rechtwinkelig stehende horizontale Axe drehbar wäre, eine mit der Stellung der Neigungsnadel ganz gleiche Richtung annehmen, weil dann die sämmtlichen in ihm circulirenden Kreisströme rechtwinkelig zu dieser Richtung liegen und so mit der Lage übereinstimmen würden, die jeder einzelne in sich zurückkehrende Strom, unter den angegebenen Bedingungen, nach vorigem § annimmt. Bis jetzt aber hat es noch seine grofsen Schwierigkeiten gefunden, einer elektrodynamischen Spirale eine solche Construction zu ertheilen, dafs sie allen Bedingungen der hierzu erforderlichen freien und leichten Beweglichkeit vollkommen entspräche.

§. 569.

Eben so übereinstimmend zeigt sich auch die hypothetische Annahme der die Erde umkreisenden elektrischen Ströme in Bezug auf ihre richtende Kraft gegen Magnetnadeln.

Eine Abweichungsnadel mufs nämlich, da sie nach Ampère's Hypothese wie eine elektrodynamische Spirale betrachtet werden kann (s. § 562), auch eine eben solche

polare Stellung annehmen wie diese, wenn die in ihr supponirten elektrischen Ströme gegen die im magnetischen Aequator der Erde fliefsenden die gesetzliche Richtung erhalten, nämlich gegenseitig gleichlaufend werden sollen. Diefs ist aber nur dann der Fall, wenn der Nordpol des Magnetes dem Nordpole der Erde und eben so der Südpol desselben dem Südpole der Erde zugewendet ist.

Es stelle nämlich *E* Fig. 380 einen Durchschnitt der Erde durch den magnetischen Aequator und *ow* die Richtung der sie von Ost nach West umfliefsenden Ströme vor. Ist nun *S* der Querschnitt eines über ihrer Oberfläche in horizontaler Ebene beweglichen Magnetes, so mufs derselbe eine solche Lage einnehmen, dafs seine Kreisströme an der der Erdoberfläche zugekehrten Seite dieselbe Richtung haben wie der Erdstrom, sie müssen nämlich auch von Ost nach West fliefsen. Diefs ist auf der nördlichen Halbkugel aber nur dann der Fall, wenn der Südpol, und auf der südlichen Halbkugel, wenn der Nordpol dem Aequator zugewendet ist.

Bei einer Neigungsnadel aber mufs sich der Nordpol auf der nördlichen, der Südpol auf der südlichen Hemisphäre zur Erdoberfläche neigen, wenn die sie umkreisenden Ströme mit denen des magnetischen Aequators in gleiche Richtung kommen sollen. —

Die schon mehrerwähnten Holzcylinder Figur 366 und die Fig. 381 können als Versinnlichungsmittel dieser gesetzlichen Stellung der Neigungsnadeln dienen. *OSWN* soll nämlich einen Meridian der Erde, *OW* den magnetischen Aequator, und die an ihm verzeichneten Pfeile die Richtung des Erdstromes andeuten. Dann sieht man leicht, dafs eine solche Nadel über dem Aequator, z. B. über *O* und *W*, horizontal, in der nördlichen Erdhälfte nach *N* und in der südlichen nach *S* hin, die in der Figur angedeutete Stellung annehmen mufs, sobald ihre Ströme mit dem Erdstrome eine gleiche Richtung erhalten sollen.

Barlow suchte auf experimentellem Wege diese hypothetische Wirkung des Erdstromes gegen Magnetnadeln auf folgende Weise zu prüfen. Er liefs einen Globus von Holz verfertigen und leitete um denselben für jeden zehnten Grad mit Metalldrähten einen elektrischen Strom. Da zeigte es sich, dafs eine Magnetnadel, bei welcher der Einfluss des Erdmagnetismus aufgehoben war, und die die Einrichtung einer

nadel erhalten hatte, alle die relativen Stellungen eben so annahm, wie sie ein Inclinatorium auf den entsprechenden Breiten der Erde annimmt.

§. 570.

Auch in eine rotirende Bewegung vermag der Erdmagnetismus einen elektrischen Strom zu versetzen, sobald die bereits § 558 erläuterten gesetzlichen Bedingungen dazu vorhanden sind, und der Leiter leicht genug und möglichst beweglich ist. Dieſs ist bei einem horizontalen begrenzten Strome der Fall, der um eine verticale Axe drehbar ist. Entfernt sich der Strom von der Axe, so erfolgt die Drehung von Ost durch Nord nach West, in der entgegengesetzten Richtung aber, wenn er zur Axe geht.

Versuch. Wenn bei dem Fig. 372 dargestellten Schweigger'schen Rotationsapparate die horizontal schwebende Nadel hinlänglich leicht und recht beweglich ist, so geräth sie blos durch Einwirkung des Erdmagnetismus in eine solche rotirende Bewegung, wie eben angeführt wurde.

E. Erregung von Magnetismus durch elektrische Ströme.

§. 571.

Aufser der ablenkenden Kraft, welche der elektrische Strom auf Magnetnadeln ausübt, besitzt derselbe auch noch die Eigenschaft, verschiedenen Elektricitätsleitern sowohl vorübergehenden als auch bleibenden Magnetismus zu ertheilen.

Diese Beobachtung machte zuerst Arago kurze Zeit nach Oersted's schönen Entdeckungen. Er fand nämlich, daſs ein jeder metallene Leiter, so lange durch ihn ein elektrischer Strom flieſst, Eisenfeile und andere den magnetischen Attractionskräften folgende Körperchen eben so wie die Pole eines Magnetes anzieht. Diese attractorische Kraft zeigt der Leiter aber nicht so wie ein Magnet an einzelnen

Stellen vorzüglich wirksam, sondern der ganze Draht wirkt ringsum, an seiner ganzen Fläche, gleich stark attractorisch.

Versuch. Einen ungefähr 1 Linie starken Kupferdraht bringe man mit den Polen der zu diesen Versuchen empfohlenen Platin- oder Kohlenkette (§ 551, S. 1018) in Verbindung. — So wie die Kette geschlossen ist, zieht der Draht an allen Stellen Eisenfeile an, er umhüllt sich völlig mit ihr und hält sie so lange fest, als er von Elektricität durchströmt wird. Oeffnet man die Kette, so fällt auch augenblicklich die Eisenfeile herab.

Statt eines geradlinigen Stromleiters kann man auch einen in der Form einer horizontal liegenden Spirale, wie Fig. 382, anwenden. Bedeckt man diese mit einer dünnen Hornplatte oder Glastafel, bestreut letztere gleichmäfsig mit feiner Eisenfeile und leitet den Strom durch die Spirale, so sieht man jene sich nach den Windungen von dieser gruppiren und aufrichten

§ 572.

Geht ein elektrischer Strom nahe bei kleinen Eisen- oder Stahlstückchen vorbei, welche eine zu seiner Stromrichtung rechtwinkelige Lage haben, so werden diese magnetisch. Dabei wird das Ende, welches links von der Stromrichtung, in dem schon früher bezeichneten Sinne, liegt, stets ein Nordpol.

Versuch. Wenn man einen Kupferstreifen als Leiter einer kräftigen Kette anwendet, auf diesen rechtwinkelig zur Stromrichtung eine feine Nähnadel legt, die durch ein Kautschukplättchen, ein Stückchen Papier, oder seidenes Zeug vom Kupfer isolirt wird, und dann den Strom durch jenen Leiter fliefsen läfst, so nimmt die Nähnadel magnetische Polarität an, wobei man finden wird, dafs der Nordpol links von der Stromrichtung entsteht, wenn man sich in diese so versetzt denkt, dafs der Strom zwischen der Nadel hindurch geht, also nach der Seite, nach welcher der Strom den Nordpol einer Magnetnadel stellen würde (s. § 551).

Weiches Eisen bleibt nur so lange magnetisch, als der Strom circulirt und auf dasselbe einwirkt, gehärteter Stahl aber behält den in ihm erregten Magnetismus.

Eine stärkere Wirkung übt der Strom aus, sobald er den zu magnetisirenden Stahl zu wiederholten Malen

kreist. Es lassen sich dann selbst gröfsere Stahlnadeln recht stark magnetisiren, wenn man sie isolirt in einen, wie eine elektrodynamische Spirale, schraubenförmig gewundenen Stromleiter bringt und durch diesen einen kräftigen Strom gehen läfst. Dann ist schon eine momentane Durchströmung des Schraubendrahtes hinreichend, um dem Strahle bleibenden Magnetismus zu ertheilen, wobei der Nordpol stets da entsteht, wo (nach § 559) der Nordpol der elektrodynamischen Spirale liegt, nämlich links von der Richtung des Stromes.

Man unterscheidet rechts oder vorwärts und links oder rückwärts gewundene Schraubendrähte. Letztere sind die, bei welchen die Windungen so fort laufen, wie bei einer gewöhnlichen Schraube. Bei diesen bildet sich der Südpol der Nadel an dem Ende, wo der Strom eintritt, der Nordpol, wo er austritt, bei den links gewundenen aber ist die Lage der Pole gerade die umgekehrte.

Erster Versuch. Man winde einen ungefähr $\frac{1}{2}$ Linie starken Kupferdraht schraubenförmig um eine etwa 1 Linie weite Glasröhre, die etwas länger als die zu magnetisirende Stahlnadel sein mufs. Ist der Draht mit Seide übersponnen, so wird die Glasröhre entbehrlich. — Schiebt man nun die Stahlnadel so in diese Drahtspirale, dafs sie von letzterer ganz umgeben ist, so wird sie auch in dem Augenblicke magnetisch, wo ein hinlänglich kräftiger Strom jene Spirale durchfliefst. — Welches Ende der Nadel der Nordpol werden mufs, läfst sich nach obigen Angaben leicht im voraus bestimmen.

Bringt man eine schon magnetische Stahlnadel in einen solchen Schraubendraht, jedoch so, dafs ihr Südpol dahin zu liegen kommt, wo bei einer unmagnetischen Nadel ein Nordpol entstehen würde, so werden ihre Pole augenblicklich umgekehrt, sobald der Strom die Spirale durchfliefst.

Da also zu dergleichen Magnetisirungen schon eine momentane Einwirkung des Stromes ausreichend ist, so erhält man auch ein gleiches Resultat, wenn man die Entladung einer Leidner Flasche durch den Schraubendraht gehen läfst, ein Versuch, der auch schon §. 502, S. 838 angeführt wurde.

Aus diesen Wirkungen erklären sich auch noch die schon früher (§ 350) erwähnten Einwirkungen des Blitzes auf Stahlstangen und Magnetnadeln.

Zweiter Versuch. Wird der Draht bis zur Mitte der Glasröhre nach einer Richtung und dann bis zum Ende nach

der entgegengesetzten gewunden, so erhält eine innerhalb eines solchen Schraubendrahtes befindliche Stahlnadel, sobald ein Strom durch ihn hindurch geht, drei Pole, nämlich an den beiden Enden zwei gleichnamige und in der Mitte, wo der Strom seine Richtung wechselt, den entgegengesetzten.

§. 573.

Zufolge der geringen Coercitivkraft (§ 457) wird das reine weiche Eisen weit stärker magnetisch als Stahl, wenn es von einem elektrischen Strome spiralförmig umkreist wird. Der ihm dadurch ertheilte magnetische Zustand ist aber auch nur vorübergehend, denn er verschwindet mit dem Aufhören des Stromes. Dergleichen, gewöhnlich cylindrische, Eisenstäbe, um welche, als Stromleiter, isolirt ein Kupferdraht schraubenförmig gewickelt ist, werden temporäre oder Elektromagnete genapnt. Die stärksten derartigen Magnete erhält man, wenn die cylindrische Eisenstange hufeisenförmig gebogen, die Umwickelung des Drahtes aber so fortgesetzt wird, als wäre es ein gerader Stab, und die Endflächen dann durch ein Stück weiches Eisen, einen Anker, geschlossen werden. Sie übertreffen alle natürliche und gewöhnliche Stahlmagnete im Tragvermögen, denn es sind schon mehre solche von nicht beträchtlichen Dimensionen construirt worden, die mehr als 2000 Pfd. zu tragen vermochten.

Sowohl die stab-, als auch die hufeisenförmigen Elektromagnete erhalten an ihren Enden diejenige Polarität, welche den Enden ihres Schraubendrahtes zukommt, nämlich links von der Richtung des Stromlaufes entsteht allemal der Nordpol. Nimmt der Strom die entgegengesetzte Richtung an, so tritt auch hierauf ein Polwechsel in dem Elektromagnete ein, und meist ist dieser Uebergang von so kurzer Dauer, dafs sich der Anker vom Magnete entgar nicht trennt, oder sich nur etwas weniges von ihm

fernt, um dann sogleich wieder von neuem angezogen zu werden. Wird der Strom bei vorliegendem Anker ganz unterbrochen, so behält, wie Watkins zuerst genauer untersuchte (s. Dove's Rep. d. Phys. I, S. 271, und Poggendorff's Ann. XXXV, S. 205), der Elektromagnet noch eine geraume Zeit beträchtliche Tragkraft (ziemlich die Hälfte der ganzen), wogegen er sie, bei vollkommen weichem Eisen, völlig verliert, wenn der Anker nicht vorliegt oder abgerissen wird. Ferner fand Magnus, dafs die aufserordentlich grofse Tragkraft der Elektromagnete nur in dem Falle ihnen zukommt, wenn sie mit ihrem Anker eine geschlossene Eisenmasse bilden, weil dann der im Anker durch Induction erregte Magnetismus diese Steigerung des Tragvermögens herbeiführt, während die einzelnen Pole als ungeschlossene Massen kaum den Anker zu tragen vermögen (s. Poggendorff's Ann. XXXVIII, S. 434).

Mehre Physiker suchten auch noch auf experimentellem und theoretischem Wege die Gesetze zu ermitteln, wovon die Tragkraft der Elektromagnete hauptsächlich abhängig ist und wonach dieselbe zugleich bestimmbar wird. Untersuchungen dieser Art wurden früher von Fechner, Dal Negro und Ritchie angestellt (s. Dove's Rep. d. Phys. I, S. 264—276), am ausführlichsten und vollständigsten geschah dieſs aber in neuerer Zeit von Jacobi und Lenz (s. Poggendorff's Ann. XLVII, S. 225, 401, LI, S. 358), so wie später ebenfalls auch Pfaff Beiträge dazu geliefert hat (s. Poggendorff's Ann. LII, S. 303). Die Hauptresultate, die sich aus diesen Untersuchungen ergaben, sind folgende:

1.) Zunächst ist die Gröfse des Tragvermögens abhängig von der Stärke des elektrischen Stromes, welcher um das Eisen circulirt, und es hat sich ergeben,

dafs die dadurch im weichen Eisen erregte Intensität des Magnetismus der Stromstärke genau proportional ist.

Die Stärke des Stromes aber ist nach Ohm's Fundamentalgesetze (§ 516, S. 891) aus der Gröfse der elektromotorischen Kraft und des von dieser zu überwindenden Leitungswiderstandes bestimmbar. Bei einem kurzen, starken und gut leitenden (Kupfer-) Draht hängt sie daher hauptsächlich von der Quantität der den Schraubendraht durchfliefsenden Elektricität, mithin von der Flächengröfse der Elektromotoren und der absoluten Stärke ihrer Erregung, bei längerem und schwächerem Drahte aber auch zugleich mit von der Dichtheit (Intensität) des Stromes, also von der Anzahl der Kettenglieder ab.

2.) Bei sich gleichbleibender Stromstärke nimmt die Tragkraft mit der Zahl der Umwindungen des Schraubendrahtes zu, oder die Totalwirkung sämmtlicher Windungen ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich.

3.) Die Ziehkraft eines Elektromagneten nimmt mit der Masse des Eisens, woraus er besteht, zu, und zwar ist diese Zunahme, bei gleicher Länge der Eisencylinder, ihren Durchmessern proportional.

4.) Von wesentlichem Einfluss hat sich in dieser Beziehung auch noch die Beschaffenheit des Eisens selbst gezeigt, indem dieſs nämlich um so stärkeren Magnetismus annimmt, je reiner, weicher und homogener dasselbe ist.

5.) Endlich hat sich auch noch ergeben, dafs die Form der Eisenmasse oder des Elektromagnetes auf dessen Tragkraft influirt. So fand man, dafs die Cylinderform vortheilhafter als die eckige ist, und dafs ein hohler Cylinder, von dem parallel mit seiner Axe ein Stück in der Art abgeschnitten wird, dafs er, wie Fig. 384 zeigt, in der Richtung der Axe ein langes, in der Höhe aber sehr kurzes Hufeisen bildet, zu welchem

das Segment des Cylinders als Anker dient, besonders fähig ist, eine grofse Tragkraft anzunehmen, und dafs endlich auch noch durch eine geringe Wölbung der Polflächen das Tragvermögen einen bedeutenden Zuwachs erlangt.

Um an einem in der gewöhnlichen Hufeisenform gestalteten Elektromagneten dessen Tragvermögen sowohl nach Gewicht, als auch durch die menschliche Zugkraft auf einfache Weise prüfen zu können, ist folgende Einrichtung desselben zu empfehlen. Das Hufeisen *NJS* Fig. 383 wird vertical stehend in einem Holzfufse so befestigt, dafs seine Schenkel nach oben gerichtet sind. Die Umwickelung der letzteren mit dem Kupferdrahte geschieht so, wie aus der Figur zu ersehen ist, und die Enden desselben erhalten zwei Schraubenhülsen *p m*, die entweder mit einem Gyrotrop (Fig. 341, § 551), oder unmittelbar mit den Polen einer zweielementigen Platin- oder Kohlenkette verbunden werden. Die Isolirung der Drahtwindungen unter einander erlangt man dadurch, dafs man sie sich nirgends berühren läfst, und die mit dem Eisen des Elektromagnetes dadurch, dafs man dasselbe mit seidenem Bande umwickelt und dann noch mit Gummilackfirnifs überzieht. Der Anker *A*, aus einem cylindrischen Stücke weichen Eisens bestehend, ist an einem ungleicharmigen Hebel *acb* so befestigt, dafs er in geringer Entfernung über den wenig gewölbten Polflächen schwebt, und dabei in der Art beweglich aufgehangen, dafs seine Cylinderfläche die Polwölbungen genau berühren kann. Am anderen Hebelarme *b* befindet sich ein hinlänglich starker Haken *h*, in welchen man entweder eine Wagschale einhängt, um durch Aufsetzung von Gewichten die Tragkraft zu messen, oder in welchem man durch Druck oder Zug mit der Hand den Anker loszureifsen versuchen kann, für welchen Fall sich das wahre Kraftmafs ergiebt, wenn der Hebel in seiner Mitte c^1 unterstützt wird. Dafs bei solchen Versuchen der Elektromagnet mit seinem Fufsgestelle fest angeschraubt sein mufs, braucht wohl kaum bemerkt zu werden.

Für genauere Messungen des Tragvermögens eignen sich aber die von Pfaff und Jacobi zu diesem Behufe construirten Hebelvorrichtungen, deren schon § 461, S. 739 Erwähnung geschah.

Sturgeon war 1825 der Erfinder dieser höchst merkwürdigen, so ungewöhnlich kräftigen Magnete. Nach ihm wurden sie von Henry und Ten Eyk (in Amerika) im gröfsten Mafsstabe ausgeführt, wo das Hufeisen nahe 60 Pfund und dabei

ein Tragvermögen von mehr als 2000 Pfd. hatte (s. Poggendorff's Ann. XXXIX, S. 468). In neuerer Zeit sind von Joule und Radforts von der gewöhnlichen Form abweichende Elektromagnete (den von Joule zeigt die Fig. 384) construirt worden, die bei einem Gewichte von nicht mehr als 15 bis 16 Pfd. ein Tragvermögen von noch mehr als 2500 Pf. annahmen (s. Poggendorff's Ann. LI. 378 und *Ann. of electricity* VI, S. 231).

§. 574.

Ist ein gerader Elektromagnet um seine Mitte in einer horizontalen Ebene drehbar, so verhält er sich ganz wie eine Abweichungsnadel oder ein Solenoid; er nimmt nämlich die polare Stellung an. Tritt bei Erreichung dieser Lage ein Stromwechsel in seinem Schraubendrahte ein, so werden zugleich auch seine Pole umgekehrt, und die Folge davon ist, dafs er in drehende Bewegung übergeht, um abermals in die polare Stellung zu kommen, wo aber, wenn er diese erreicht, dieselbe Aenderung in seinem Magnetismus wieder eintritt, und daraus entspringt nun eine fortwährende Rotation des Elektromagnetes um seine Mitte. Verstärkt wird diese rotirende Bewegung, welche in dem angeführten Falle nur aus der Wirkung des Erdmagnetismus hervorgeht, sobald an den Stellen, wo der Stromwechsel eintritt, gleichzeitig die unveränderlichen Pole eines gewöhnlichen oder eines Elektromagnetes auf ihn einwirken. Nach dem magnetischen Polaritätsgesetze tritt nämlich erst eine Anziehung zwischen den ungleichnamigen Polen ein, sobald sich diese aber durch den Stromwechsel in die gleichnamigen verwandeln, folgt eine rasche Abstofsung, wobei diese alternirende Wirkung so lange fortdauert, als durch den elektrischen Strom der temporäre Magnetismus erregt wird. Ritchie war (1833) der Erfinder dieser rotirenden Elektromagnete und kam dabei zuerst auf den Gedanken, es könne diese Rotation vielleicht als Bewegungs-

Maschinen angewendet werden (s. Poggendorff's Ann. XXXII, S. 538).

Einen Apparat dieser Art, der aufser der Erzeugung der Rotation auch zu anderem Behufe als Stromunterbrecher benutzt werden kann, stellt die Figur 385 in der Seiten- und Fig. 385ᵉ in der oberen Ansicht dar. — *SN* ist ein mit seinen Polen nach oben gekehrter gewöhnlicher Hufeisenmagnet, *nsc* der kleine Elektromagnet, welcher um die verticale Axe *cd*, deren Spitze in einer Vertiefung der Schraube *m* steht, drehbar ist, und dessen Polflächen *n* und *s* in geringer Entfernung von denen des Stahlmagnetes stehen. Die Leitung des Stromes in die Enden *a* und *b* des Schraubendrahtes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Die Pole *S* und *N* des Stahlmagnetes gehen nämlich durch eine Holzscheibe, und zwischen ihnen sind in dieser die zwei Hälften einer ringförmigen Kupferplatte so eingelegt, dafs sie bei *f* und *g* durch zwei Stege von Holz oder Elfenbein von einander getrennt und zugleich isolirt sind. Von ihnen aus gehen durch die Holzscheibe Leitungen, die sich an der Peripherie derselben in Schraubenhülsen *p* und *n* endigen, wodurch dann die beiden halbringförmigen Kupferplatten mit den Polen einer constanten Kette in Verbindung gebracht werden können. Diese nun als Pole der Kette wirkenden Kupferplatten werden von den Enden *a* und *b* des Schraubendrahtes berührt, und auf diese Weise umkreist der Strom den Elektromagnet. Damit aber zwischen den Puncten des Stromüberganges immer eine rein metallische Berührung erhalten wird, und damit auch zugleich an diesen Stellen eine möglichst geringe Reibung stattfindet, ist es am vortheilhaftesten, an die Drahtenden *a* und *b* kurze, gabelförmig gebogene, an ihren Enden dünn geklopfte Platindrähte, wie Fig. 386ᵇ zeigt, einzuhängen, welche dann auf den Kupferflächen schleifen, die man entweder amalgamiren, versilbern oder vergolden kann. In dem Augenblicke, wo diese Drahtgabeln von der einen Kupferplatte über die Stege *f* und *g* weggleiten und dann die andere Kupferplatte berühren, tritt, wie sich aus dem Vorstehenden leicht ergiebt, ein Polwechsel in dem Elektromagnete ein, und sollen dann, während jeder halben Rotation desselben, noch einige Stromunterbrechungen eintreten, so dienen dazu die bei *x* über die Kupferplatte geführten Stege von Holz, Horn oder überfirnistem Draht.

§. 575.

Durch diesen Ritchie'schen rotirenden Elektromagnet wurden seit dem letzten Decennium mehre europäische

und aufsereuropäische Physiker und Mechaniker veranlafst, sowohl auf praktischem, als auch auf theoretischem Wege zu untersuchen, in wie weit sich die elektromagnetische Kraft als Maschinenkraft in der Technik benutzen läfst.

Das Princip aller seit dieser Zeit in verschiedener Weise ausgeführten elektromagnetischen Bewegungsmaschinen beruht in der Hauptsache auf der grofsen Anziehkraft der ungleichnamigen Pole der Elektromagnete und darauf, dafs die frühere Anziehung dieser einander gegenüber stehenden Pole eben so in eine Abstofsung derselben übergeht, wenn durch den Stromwechsel in ihrem Spiraldrahte dann gleichnamige Pole auf einander einwirken. — Dem Professor Jacobi in Petersburg verdanken wir darüber bis jetzt jedenfalls, sowohl in praktischer als theoretischer Beziehung, die vollständigsten und grofsartigsten Untersuchungen.

Auf die von ihm und von Lenz ermittelten Gesetze der Wirksamkeit solcher Maschinen gestützt, wurde unter ihrer Leitung im Jahre 1839 ein Apparat dieser Art hergestellt, dessen Nutzeffect ½ bis 1 Pferdekraft (§ 426) gleich kam.

Diese Maschinen haben durch das, was schon bis jetzt mit ihnen geleistet wurde, ein grofses praktisches Interesse erhalten, und wer vorurtheilsfrei die Sache überlegt und beherzigt, dafs die Erfahrung aller Zeit gelehrt hat, wie Erfindungen dieser Art nicht in Jahren zu dem Grade der Vollkommenheit gebracht werden können, welche ihre Benutzung unter allen Fällen möglich macht, wird sich durch die schon gewonnenen Resultate zufrieden gestellt finden, und bei der Gewifsheit des Vorhandenseins dieser Kraft den Glauben nicht aufgeben, dafs es weiteren Forschungen noch gelingen wird, ihre ausgedehntere Anwendung möglich zu machen. Ob aber, wie von Vielen geglaubt wird und selbst mit Zuversicht ausgesprochen wurde, diese neue Bewegungskraft die Dampfkraft ersetzen oder gar verdrängen werde, diese Frage läfst sich bei den bis jetzt erlangten Erfahrungen und Versuchen noch nicht mit Bestimmtheit beantworten; denn es müfste dann schon vollkommen entschieden sein, dafs sich die elektromagnetische Kraft, eben so wie die des Dampfes, in jeder beliebigen Stärke erzeugen, dafs sich durch sie jede für Maschinen erforderliche

Geschwindigkeit hervorbringen, und dafs sie sich ebenso wie die Dampfkraft nach Erfordern reguliren liefse, und wenn auch diese Fragen eine befriedigende Beantwortung finden, so wird doch immer, ungeachtet des gewichtigen Vortheils der Gefahrlosigkeit dieser Kraft, die Lebensfrage für sie noch die bleiben, ob sich ihr ökonomischer Effect, d. h. ihre Leistung im Verhältnifs zu dem Kostenaufwande, mit dem der Dampfkraft gleich stellt oder noch zu ihren Gunsten spricht. Dazu gehört aber dann hauptsächlich, dafs man zur Erzeugung dieser Kraft eben so verbreitete Stoffe ausfindig mache, wie die für die Dampfkraft sind; denn bei der jetzigen Construction der elektromagnetischen Bewegungsmaschinen und den Stoffen zur Erregung ihrer Kraft, ist nicht anzunehmen, dafs durch sie nur ein geringer Theil der Millionen Pferdekräfte, welche die Zahl der schon vorhandenen Dampfmaschinen vertritt (s. S. 659), würde ersetzt werden können. Unwillkürlich kamen mir bei Niederschreibung dieser Zeilen die illusorischen Erwartungen in Erinnerung, die man sich vor nicht langen Jahren von der Dampfkraft als Ersatzmittel der Kraft des Schiefspulvers machte (s. S. 656).

Von den Schriften, in welchen man sich weitere Auskunft über das erholen kann, was für das Maschinenwesen in dieser Beziehung bereits geleistet worden ist, sind unter anderen folgende anzuführen: *Mémoire sur l'application de l'Electromagnetisme au mouvement des machines, par M. Jacobi, Potsd.* 1835; Jacobi in Poggendorff's Ann. XLVII, S. 225, 401, LI, S. 358; Stöhrer im polyt. Centr. Bl. 1841, S. 225, 352, 1024, 1151; ferner mehre Nachrichten und Aufsätze hierüber in den Jahrg. von Dingler's polyt. Journal von 1835 an, so wie auch das kürzlich erschienene Werk von Dr. Eydam, die Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus, S. 247 bis 256, eine Zusammenstellung des bis jetzt hierüber Bekanntgewordenen enthält. Allgemein gespannt ist man aber auf die Resultate, welche der seit mehren Jahren mit unermüdeter Thätigkeit an der Herstellung einer elektromagnetischen Locomotive arbeitende scharfsinnige Techniker Joh. Phil. Wagner zu Frankfurt a. M. erhalten wird.

II. Magneto-Elektrismus oder Inductionswirkungen elektrischer Ströme.

A. Erregung elektrischer Ströme durch andere.

§. 576.

Nachdem man durch die elektromagnetischen Entdeckungen zu der Ueberzeugung gelangt war, dafs die im Zustande der Bewegung befindliche Elektricität magnetische Eigenschaften besitzt und magnetisirende Wirkungen ausübt, so knüpfte sich hieran die natürliche Schlufsfolge, dafs umgekehrt auch wohl der Magnetismus elektrische Erscheinungen hervorzurufen im Stande sein müfste.

Da nun nach der über das Wesen des Magnetismus aufgestellten Hypothese Ampère's (§ 502) Magnete als Körper betrachtet werden können, um welche elektrische Ströme kreisen, so war zunächst zu prüfen, welche Wirkung solche Ströme auf andere Körper ausüben, die sich im Zustande des elektrischen Gleichgewichtes befinden. Die hierüber angestellten Untersuchungen führten zu folgenden Resultaten:

1.) Elektrische Ströme wirken eben so, wie die im Zustande der Spannung befindliche Elektricität, elektrisirend auf Leiter, die sich in ihrer Wirkungssphäre befinden, indem sie in diesen durch Vertheilung oder Induction wieder elektrische Ströme erregen. Die hieraus hervorgehenden elektrischen Ströme werden inducirte oder secundäre Ströme genannt, während der ursprünglich vorhandene der inducirende, primäre oder Hauptstrom heifst.

2.) Ein solcher secundärer Strom tritt in einen geschlossenen metallenen Leiter ein, sobald er einem schon vorhandenen Strome genähert oder von diesem entfernt wird, so wie auch dann, wenn in seiner Nähe ein elektrischer Strom entsteht oder aufhört.

3.) Diese durch einen primären Strom erzeugten secundären Ströme dauern nur einen Augenblick, während jener auch noch fortbesteht.

4.) Was die Richtung der secundären Ströme betrifft, so hat der zuerst entstehende oder Anfangsstrom, nämlich der, welcher *bei der* Annäherung des unelektrischen Leiters oder bei Entstehung des primären Stromes eintritt, die *entgegengesetzte*, der zweite oder Endstrom, d. h. der, welcher bei der Entfernung, so wie bei dem Aufhören des Hauptstromes erscheint, *dieselbe Richtung*, wie der primitive oder erregende. — Hieraus ergiebt sich, dafs die secundären Ströme stets den umgekehrten Lauf von demjenigen Strome annehmen, der in dem unelektrischen Leiter hätte vorhanden sein müssen, um jene Annäherung oder Entfernung zu bewirken (s. § 554).

Weitere Forschungen zeigten, dafs der durch einen einfachen oder geradlinigen primitiven Strom hervorgerufene secundäre, welcher eine nur geringe Intensität besitzt, eine beträchtliche Verstärkung erhält, wenn der Leiter des primitiven und der des secundären Stromes neben einander spiralförmig zusammengewunden werden, indem sich dann die einfache Wirkung, eben so wie dieſs auch bei den Multiplicatoren geschieht (s. § 517 und 552), wiederholt und gleichsam vervielfacht.

Theils die kurze Dauer der durch Induction erregten Ströme, theils auch ihre geringe Intensität waren wohl die Hauptursachen, dafs sie sich der Entdeckung vieler ausgezeichneten Physiker lange entzogen. Faraday war der Erste, welcher gegen Ende d. J. 1831 die eigentlichen Gesetze dieser inducirenden Wirkungen elektrischer Ströme auffand und ihre Entstehung durch Hilfe der verstärkenden Wirkung multiplicatorischer Drahtleitungen mit Bestimmtheit am Galvanometer nachwies.

Die instantane Dauer solcher Ströme sucht dieser Gelehrte nach den Gesetzen der Inductionswirkung der Spannungselektricität (§ 483 und 488) auf folgende Weise zu erklären. In dem Augenblicke, wo durch einen primären Strom in einem geschlossenen Leiter das elektrische Gleichgewicht aufgehoben wird, zieht jener die eine Elektricität an und stöfst die andere ab. Daraus entspringen zwei Ströme, wovon der eine sich in der entgegengesetzten, der andere in derselben Richtung wie der primäre Strom fortbewegt. Der letztere nun wird, nach den Gesetzen der Wirkung elektrischer Ströme auf einander (§ 554), von dem inducirenden Strome angezogen, und dadurch seine Wirkung aufgehoben oder gebunden, während der andere sich mit der bekannten grofsen Schnelligkeit fortbewegt. Der inducirte Leiter befindet sich daher, während der Dauer des einwirkenden Stromes, eben so in einem eigenthümlichen Zustande des Gebundenseins, wie ein durch Vertheilung in Spannungszustand versetzter Leiter, ein Zustand, den Faraday den elektrotonischen genannt hat. Hört dieser Zustand auf, so wird der während seiner Dauer zurückgehaltene Strom frei, und es beginnt jetzt seine Bewegung in der Richtung des erregenden Stromes (s. Faraday's erste Reihe d. Experimentaluntersuchungen in Poggendorff's Ann. XXV, S. 91, 110).

Von dem Eintreten dieser secundären Ströme, von ihrer kurzen Dauer, so wie von der Gesetzlichkeit ihrer Richtung überzeugt man sich durch ihre Einwirkung auf die Magnetnadel bei Anstellung folgender Versuche.

Erster Versuch. Als Leiter für den primitiven und secundären Strom dienen zwei mit Seide übersponnene, gegen 1^{mm} starke Kupferdrähte. Beide werden in mehren Lagen neben und über einander auf eine hinlänglich tief ausgedrehte Holzrolle aufgewickelt, so dafs die Gesammtzahl der Windungen wenigstens einige Hundert beträgt. Eine solche sogenannte Inductionsspirale oder Rolle stellt die Figur 386 dar. *a* und *b* sind die beiden Enden des einen, c und *d* die des anderen Drahtes, und damit man die zusammengehörenden Enden eines jeden dieser Leiter erkennen könne, ist es gut, wenn sie mit verschiedenfarbiger Seide übersponnen werden. Bringt man die Enden des einen Drahtes, z. B. *a* und b, mit der

kräftigen constanten Kette in Verbindung, so circulirt dann in diesem Leiter der Strom ganz in der Nähe des anderen Leiters, ohne aber in diesen übergehen zu können. Der zweite Draht dient nun als Leiter für den secundären Strom, und damit man die in ihm eintretenden Inductionswirkungen wahrnehmen könne, werden seine Enden *c d* mit denen eines Multiplicatorgewindes in leitende Verbindung gebracht. — In dem Augenblicke, wo durch den ersten Draht die Kette geschlossen wird, zeigt eine Ablenkung der Multiplicatornadel den im Nebendrahte entstandenen secundären Strom an. Gesetzt, der primitive Strom gehe in dem ersten Drahte von *a* nach *b*, so zeigt die Magnetnadel einen im Nebendrahte entstandenen Strom an, der in der Richtung von *d* nach *c* denselben durchläuft. Nach einigen Schwankungen kehrt aber die Nadel auf ihren vormaligen Stand zurück, ein Beweis, dafs der inducirte Strom aufgehört hat. Unterbricht man den primitiven Strom durch Oeffnen der Kette, so schlägt in demselben Augenblicke die Magnetnadel nach der entgegengesetzten Seite aus; sie zeigt also nun einen Strom an, der den Nebendraht in der Richtung von *c* nach *d*, also in derselben Richtung durchfliefst, in welcher der eben aufgehörte Hauptstrom sich bewegt hatte.

Zweiter Versuch. Um die Entstehung der secundären Ströme bei Annäherung und Entfernung eines geschlossenen Leiters an einem anderen, der schon von Elektricität durchströmt wird, zu zeigen, mufs man sich zweier getrennter Inductionsspiralen bedienen. Die inducirende Spirale, deren Enden mit der constanten Kette verbunden werden, besteht aus einer Holzrolle, auf welcher sich einige Hundert Windungen eines gegen 1 Linie starken mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes befinden, wie Fig. 387 A darstellt. Die andere Spirale, in der der secundäre Strom entstehen soll, befindet sich ebenfalls auf einer Holzrolle Fig. 387 B, welche so weit ist, dafs sie locker über die erstere hinweggeht. Sie enthält 1000 oder einige 1000 Windungen eines schwachen, ebenfalls mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes, dessen Enden mit denen des Multiplicatorgewindes in leitender Verbindung stehen. — Die im vorigen Versuche angeführten Erscheinungen treten dann auf gleiche Weise ein, sobald man die zweite Spirale über die inducirende schiebt, und wenn man sie von dieser wieder entfernt.

Wie man sich solcher getrennter Spiralen auch zur Anstellung des ersten Versuchs bedienen kann, bedarf wohl nicht erst einer besonderen Erklärung.

§. 577.

Bald nach Entdeckung dieser secundären Ströme fand man, wie auch zu erwarten war, dafs sie nicht blos magnetische, sondern wie andere elektrische Ströme auch physiologische Wirkungen und Lichterscheinungen hervorbringen, wogegen sie sich in den chemischen Actionen wegen ihrer alternirenden Richtung aufheben. Soll aber der Effect der physiologischen Wirkung auf den menschlichen Körper, nämlich die Nervenerschütterung, recht bemerkbar und kräftig werden, so mufs eine rasche Folge von Unterbrechungen des primären Stromes stattfinden, welcher Zweck durch Einschaltung eines hierzu sich eignenden Stromunterbrechers in die Kette erreicht wird.

Zuckungen von Froschschenkeln (s. S. 913) entstehen, wenn diese mit den Enddrähten der inducirten Spirale verbunden werden, bei jedem Schliefsen und Oeffnen der Kette. — Eben so erhält man in diesen beiden Fällen auch Funken, wenn sich die amalgamirten Drehenden in Berührungsnähe befinden.

Um eine Stahlnadel zu magnetisiren, ist diese eben so, wie bei einem dauernden hydroelektrischen Strome, in einen Schraubendraht (s. S. 1056) zu bringen, dessen Enden mit denen der inducirten Spirale zu verbinden sind. Dann darf man aber nur einen der beiden secundären Ströme durch jene Leitung gehen lassen, weil sonst die magnetisirende Wirkung, wegen der entgegengesetzten Richtung, welche diese beiden Ströme haben, von dem anderen Strome entweder ganz oder zum Theil wieder aufgehoben wird.

Den einfachsten Stromunterbrecher für die physiologischen Wirkungen giebt hierbei eine Feile ab, die man mit dem einen Pole der einfachen Kette verbindet, wobei man die Schliefsung dadurch bewirkt, dafs man mit dem dazu dienenden Drahtende der inducirenden Spirale oder mit einem daran gelötheten Kupferstreifen über jene Feile hin und her fährt. Aufserdem können auch zu diesem Behufe die schon § 520, S. 915 angeführten Apparate oder auch ein Ritchie'scher rotirender Elektromagnet Fig. 385 (§ 574, S. 1061) in den Schliefsungskreis dieses Stromes eingeschaltet werden, bei welchem letzteren der Vortheil vorhanden ist, dafs der Strom selbst die Unterbrechung fortwährend bewirkt. Die Muskelcontractionen und Nervenerschütterungen verspürt man dann schon bei einem Strome, der von einem einzigen

Elemente einer constanten Kette ausgeht, sobald man die metallischen Enden der Spirale, in welcher der secundäre Strom entsteht, mit genäfsten Händen erfafst, und diese Wirkung wird bedeutend erhöht, wenn man jene Drahtenden mit den schon S. 915 erwähnten Conductoren verbindet und diese in die Hände nimmt. Bei dem gewöhnlichen Volta'schen Strome gehört, um eine solche Wirkung hervorzubringen, schon eine Säule von mindestens 30 Plattenpaaren; hier aber wird diese Verstärkung oder Verdichtung des Stromes der einfachen Kette, welcher, wie wir sahen, eine ganz geringe Intensität besitzt, durch die oft wiederholten Windungen der Inductionsspiralen hervorgebracht.

§. 578.

Auch in seinem eigenen Leiter erregt jeder elektrische Strom noch einen besonderen Strom beim Schliefsen und Oeffnen der Kette. Faraday schreibt die Ursache hiervon einer inducirenden Wirkung zu, welche die Windungen einer und derselben Drahtspirale auf einander ausüben, und nennt diesen Inductionsstrom (*extracurrent*) den Extrastrom (Gegenstrom, Rückstrom). Der bei Schliefsung der Kette entstehende Extrastrom hat eben so, wie der secundäre Strom, eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung und wird deshalb durch die Ueberlegenheit des letzteren neutralisirt; der beim Oeffnen der Kette eintretende aber hat eine gleiche Richtung mit dem Hauptstrome und wird deshalb in seinen Wirkungen bemerkbar, die sich vorzüglich durch intensive Lichtfunken und kräftige physiologische Wirkungen zu erkennen geben (s. Faraday's 9. Reihe der Experimentaluntersuchung in Poggendorff's Ann. XXXV, S. 413—444. Kürzlich hat Dove ebendaselbst LVI, S. 251 die Eigenthümlichkeiten dieser Extra- oder Gegenströme, die er durch eine Reihe sinnreich angeordneter Versuche auffand, bekannt gemacht).

Die nachstehenden Versuche sind solche, welche das Vorhandensein dieses Extrastromes deutlich erkennen lassen.

Erster Versuch. Verbindet man die Quecksilbernäpfchen an den Polen einer einfachen kräftigen Volta'schen (am besten Platin- oder Kohlen-) Kette durch einen kurzen Kupferdraht, so erhält man beim Schliefsen und Oeffnen der Kette einen nur ganz unbedeutenden Funken; erfolgt diefs aber mit dem langen Drahte einer Inductionsspirale, so erscheint beim jedesmaligen Oeffnen ein lebhafter, mit einem deutlichen Knistern verbundener Funke.

Zweiter Versuch. Werden die Pole einer solchen einfachen Kette durch die schon mehrerwähnten Metallconductoren, die man in beiden Händen hält, verbunden, so verspürt man weder beim Schliefsen noch beim Oeffnen der Kette eine Nervenaffection; wird aber zwischen dem einen Pole und dem einen Conductor eine Inductionsspirale eingeschaltet, so erhält man beim jedesmaligen Oeffnen der Kette einen Erschütterungsschlag, der sich mit der Anzahl der Windungen in der Drahtspirale bis zu einer gewissen Grenze verstärkt.

Sowohl die Lichterscheinungen als auch die elektrischen Schläge treten weit lebhafter und energischer ein, wenn man einen der schon bekannten Stromunterbrecher in die Kette einschaltet, und vorzüglich schön erscheinen die Lichtfunken, wenn dazu ein Ritchie'scher rotirender Elektromagnet Fig. 385 angewendet wird. Um dann die sich schnell wiederholenden Erschütterungsschläge zu erhalten, mufs der Stromunterbrecher in dem Theile der Leitung eingeschaltet werden, der sich zwischen den beiden mit den Händen gefafsten Conductoren befindet. Die Fig. 388 wird diese Anordnung der Stromleitung noch mehr versinnlichen. *E* ist die einfache Kette, *S* die mit dem einen Pole verbundene Inductionsspirale, bei *U* befindet sich der Stromunterbrecher, und *C C* sind die mit der Hauptleitung verbundenen Conductoren. Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes in *U* geht dann der Extrastrom von den Conductoren *C C* aus durch den menschlichen Körper.

Ein solcher Extrastrom bringt, wenn die Stromunterbrechung anhaltend und schnell erfolgt, auch thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervor, wie ebenfalls von Faraday nachgewiesen worden ist.

§. 579.

Auch der momentane Strom der Reibungs-Elektricität, wie man ihn beim Entladen einer Leidener Flasche oder elektrischen Batterie erhält, erregt in geschlossenen Leitern, die dem Leiter des momentanen Stromes nahe stehen,

inducirte oder secundäre Ströme, deren Eigenthümlichkeiten kürzlich von P. Riefs und Dove in einer umfänglichen Reihe von sinnreich angeordneten Versuchen erforscht worden sind. Ein solcher instantaner Hauptstrom erzeugt nur einen secundären Strom, der mit jenem immer eine gleichlaufende Richtung hat und auch analoge, thermische, magnetische und physiologische Wirkungen, wie die durch dauernde elektrische (Volta'sche) Ströme erzeugten, hervorbringt. In ein weiteres Detail der besonderen Eigenthümlichkeiten dieser Ströme hier einzugehen, gestattet der Raum nicht, und es wird deshalb auf die diesen Gegenstand betreffenden classischen Abhandlungen in Dove's Repert. d. Phys. VI, S. 206 — 257 und in Poggendorff's Ann. XLVII, S. 55, XLIX, S. 393, L, S. 1, LI, S. 177, 351, LIV, S. 305 verwiesen.

B. Erregung elektrischer Ströme durch Magnete.

§. 580.

Nach dem, was man über die Inductionswirkung elektrischer Ströme aufgefunden hatte, war zu erwarten, dafs auch Magnete, wenn die von Ampère über sie aufgestellte Hypothese richtig war, ganz analoge Wirkungen hervorbringen müssen, wie eine von Volta'scher Elektricität durchströmte Inductionsspirale. Die Versuche, die man zu diesem Zwecke anstellte, haben diefs auch bestätigt. Ein Magnet erregt nämlich durch Induction in einem nicht elektrisch geschlossenen Leiter einen Strom, sobald er diesem genähert, und dann wieder, wenn er von ihm entfernt wird. Während sich der Magnet aber in der Nähe des Leiters in Ruhe befindet, zeigt sich in letzterem keine Strömung. Uebrigens haben diese secun-

dären Ströme eben dieselben Richtungen, wie sie nach dem Fundamentalgesetze der Induction elektrischer Ströme (§ 576) bei Zugrundelegung der Ampère'schen Vorstellungsweise von einem Magnete (§ 562) eintreten müssen.

Die erste Kenntnifs von diesen sogenannten magneto-elektrischen Strömen verdanken wir ebenfalls Faraday, welcher sie gleichzeitig mit den durch Volta'sche Ströme erzeugten secundären Strömen (gegen das Ende d. J. 1831) auffand (s. Faraday's erste Reihe der Experimentaluntersuchungen in Poggendorff's Ann. XXV, S. 99).

Folgender Versuch kann hierzu als Fundamentalversuch angestellt werden.

Versuch. Führt man in den hohlen Cylinder einer Inductionsspirale, wie sie die Figur 387 B vorstellt, während ihre Enden mit einem Galvanometer in Verbindung stehen, den einen Schenkel eines kräftigen Hufeisenmagnetes ein, so zeigt die Abweichung der Magnetnadel an, dafs in jener Spirale ein secundärer Strom entstand, dessen Richtung den Strömen um den Magnet entgegengesetzt ist. — Bleibt der Schenkel des Magnetes im Cylinder in Ruhe, so nimmt nach einigen Schwankungen die Galvanometernadel wieder ihren normalen Stand an; es befindet sich also die Kupferspirale im elektrodonischen Zustande (s. § 576, S. 1067). — Zieht man, nachdem dieser Ruhestand eingetreten ist, den Magnetschenkel wieder aus der Spirale heraus, so erfolgt eine abermalige Abweichung der Galvanometernadel, aber nach der entgegengesetzten Seite, wie beim Einführen des Magnetes in die Spirale. — Die entgegengesetzten Ablenkungen treten an der Magnetnadel ein, sobald man den anderen Pol des Magnetes auf gleiche Weise in Anwendung bringt. — Bei diesen Versuchen müssen natürlich die Leitungen von der Spirale bis zum Galvanometer so lang sein, dafs der Magnet auf die Nadel des letzteren keine unmittelbare Einwirkung ausüben kann.

§. 581.

Weiches Eisen, welches durch dauernde elektrische Ströme (der Volta'schen oder Thermo-Ketten Poggendorff's Ann. XLIX, S. 97), oder auch durch Vertheilungswirkung eines Stahlmagnetes in temporär magnetischen Zustand versetzt ist, erzeugt in einer Inductionsspirale, ebenso wie ein Magnet, die secundären Ströme.

Die Bestätigung für den ersten Fall erhält man, sobald ein Elektromagnet von einer Inductionsspirale umschlossen ist, wenn in ihm durch das Schliefsen und Oeffnen der Kette, von welcher der Strom seinen Schraubendraht durchfliefst, abwechselnd der magnetische und unmagnetische Zustand hergestellt wird. Im anderen Falle aber entstehen dieselben Wirkungen, wenn sich in der Inductionsspirale ein weicher Eisenkern befindet, in dem man abwechselnd durch das Annähern und Entfernen des Poles eines starken Stahlmagnetes temporären Magnetismus erzeugt (s. Poggendorf's Ann. XXV, S. 105).

Durch folgende Versuche kann man sich von diesen Wirkungen der Elektromagnete und des im magnetischen Inductionszustande befindlichen Eisens überzeugen.

Erster Versuch. Einer der einfachsten Apparate, durch welchen magnetoelektrische Ströme vermöge der Einwirkung eines Elektromagnetes entstehen, ist der sogenannte magnetoelektrische Ring Fig. 389. Es besteht derselbe aus einem etwa 1 Zoll starken cylindrischen Eisenstabe, welcher zu einem ovalen Ringe verbunden ist, dessen grofser innerer Durchmesser 3 bis 4 Zoll betragen kann. Die eine Hälfte *E* von ihm wird durch isolirte Umwickelung mit einem Kupferdrahte von erforderlicher Stärke, dessen Enden *p* und *n* man mit den Polen einer constanten Kette verbindet, in einen Elektromagnet umgewandelt, während die andere Hälfte, die gleichsam den Anker dieses Elektromagnetes abgiebt, von den vielfachen Drahtwindungen der Inductionsspirale *S* umschlossen ist. Verbindet man die Enden *a* und *b* dieser Spirale mit einem Multiplicator, so wird die Magnetnadel desselben die entsprechenden Wirkungen beim Schliefsen und Oeffnen der Kette des Elektromagnetes anzeigen. — Eben so kann man sich zu diesem Versuche auch eines gewöhnlichen Elektromagnetes, wie ihn die Figur 383 darstellt, bedienen, wenn man seine Pole durch einen cylindrischen Anker schliefst, über welchen eine Inductionsspirale geschoben ist.

Zweiter Versuch. Um die Entstehung der magnetoelektrischen Ströme mittels der Inductionswirkung eines Stahlmagnetes zu zeigen, hat man nur nöthig, einen solchen Anker, wie der zu Ende des vorigen Versuches angegebene, den Polen eines kräftigen Hufeisenmagnetes zu nähern und ihn dann

wieder von diesen zu entfernen. Bei der Annäherung der Pole des Magnetes an die beiden Enden des Ankers zeigt die mit seiner Spirale verbundene Multiplicatornadel das Eintreten eines Stromes an, der die entgegengesetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'schen Theorie das weiche nun zum Magnete gewordene Eisen umkreist. Bei dem Entfernen des Magnetes aber ergiebt sich aus dem entgegengesetzten Ausschlage der Magnetnadel, dafs der entstandene zweite secundäre Strom eine gleiche Richtung mit dem nun aufhörenden im weichen Eisen hat.

§. 582.

Die Gesetzlichkeit, nach der sich die durch den Magnetismus in den Inductionsspiralen hervorgerufene magnetoelektrische Kraft richtet, ist von Lenz gesucht und aufgefunden worden. Die dafür erhaltenen Resultate sind ganz übereinstimmend mit den Gesetzen, welche Jacobi und Lenz für die durch Volta'sche Ströme erregte Stärke der elektromagnetischen Kraft ermittelt haben (vergl. § 573). Es ergab sich nämlich:

1.) dafs die in einer Inductionsspirale erregte magnetoelektrische Kraft der Summe der durch den Magnetismus hervorgerufenen elektromotorischen Kräfte der einzelnen Drahtwindungen (im Sinne des Ohm'schen Fundamentalgesetzes § 516, S. 891) gleich, mithin

2.) unter übrigens gleichen Umständen, nämlich bei gleicher Stromstärke, der Anzahl der Windungen nahe proportional und von der Dicke des Drahtes gänzlich unabhängig ist, und dafs die Intensität durch die Weite der Drahtwindungen nur um etwas vermindert wird, indem bei weiteren Windungen jene etwas schwächer als bei engeren ausfällt (s. Poggendorff's Ann. XXXIV, S. 385 und XLVII, S. 266).

§. 583.

Vereinigt man die Wirkungen einer hydroelektrischen Inductionsspirale mit denen einer elektromagnetischen, indem man in den inneren hohlen Cylinder derjenigen Spirale, durch welche der primäre Strom geleitet wird, einen weichen Eisenkern einführt, so tritt eine gegenseitige Verstärkung der gleichzeitig durch beide Einwirkungen entstehenden secundären Ströme ein. Das weiche Eisen nimmt nämlich hier bei jedem Schliefsen der Volta'schen Kette Magnetismus an, verliert ihn aber bei jedem Oeffnen wieder und wirkt dadurch ebenfalls in gleichem Sinne wie der Volta'sche Strom inducirend auf das äufsere Drahtgewinde. Bei dergleichen Inductionsapparaten zeigt sich der im Augenblicke des Oeffnens der Kette entstehende Extrastrom (oder Gegenstrom) (s. § 578) besonders energisch in Erzeugung der Unterbrechungsfunken und physiologischen Wirkungen, und spätere Entdeckungen ergaben, dafs diese Wirkungen noch weit beträchtlicher ausfallen, wenn statt eines massiven Eisencylinders ein Bündel von Eisendrähten angewendet wird (a).

Auf diesen Erfahrungen beruht die Construction der in neuerer Zeit verschiedenartig ausgeführten und schon mehrfach, vorzüglich zu medicinischen Zwecken, in Anwendung gekommenen galvano-magnetischen Inductions-Maschinen, welche aus einer Inductionsspirale bestehen, bei welcher die hydroelektrische Kette durch einen in ihren Leiter eingeschalteten Stromunterbrecher in schneller Folge geschlossen und geöffnet wird (b).

a.) Die Entdeckung, dafs ein Bündel von durch Firnifs isolirten Eisendrähten, im Vergleich mit einem massiven Eisenkern, den Extrastrom bedeutend verstärkt, ist wie es scheint zuerst in England von Bachhoffner und Sturgeon gemacht worden. Magnus und Dove haben sich bemüht, den Grund

dieser eigenthümlichen Verstärkung aufzufinden. Beide ausgezeichnete Physiker bemerkten keinen erhöhten Stromeffect, wenn das Drahtbündel von einer geschlossenen Metallhülse umgeben wurde. War dagegen die Metallröhre aufgeschlitzt, oder wurde sie ganz weggelassen, so zeigte der Strom eine auffallend stärkere Wirkung. Dove fand ferner bei seinen fortgesetzten Untersuchungen, dafs zwei ganz gleiche Inductionsspiralen, die aber mit verschiedenen Eisenkernen und Drahtbündeln versehen wurden, wenn sie auf das Galvanometer gleich einwirkten, sich in Hinsicht auf die Nervenerschütterungen nicht gleich verhielten, und glaubt, dafs die gesteigerten physiologischen Wirkungen theils von der Beschaffenheit des Eisens an sich, theils von der Discontinuität der Masse desselben abhängen, und dafs der gröfsere Effect dem dadurch herbeigeführten schnelleren Aufhören des Stromes zuzuschreiben sei, woraus sich auch zugleich die Verstärkung des Schlages erklärt, wenn das Oeffnen der Kette schnell dem Schliefsen derselben folgt (s. Poggendorff's Ann. XLVIII, S. 95, XLIX, S. 72 — 96).

b.) Einen der einfachsten und sinnreichsten Stromunterbrecher für solche Maschinen verdanken wir dem Erfindungsgeiste des Herrn P. Wagner in Frankfurt a. M., welcher auch von Dr. Neef hierzu, nicht allein seiner Einfachheit wegen, sondern vorzüglich auch deshalb empfohlen wird, weil seine Bewegung, wie bei Ritchie's rotirendem Elektromagnete, durch den im Apparate erweckten Elektromagnetismus unterhalten wird. Das Princip, worauf dessen Construction beruht, mag die Fig. 390 versinnlichen; aufserdem ist seine mechanische Zusammenstellung noch mancherlei Abänderungen fähig. *JJ* stellt den Durchschnitt einer doppelten Inductionsspirale vor, *rr* ist die Holzrolle, worauf die innere Spirale von starkem Kupferdrahte *a* als Leiter des Hauptstromes, und über diesem die schwächere *b* als Leiter des secundären Stromes aufgewunden ist. *m* zeigt das in die Axe der Spirale eingeführte Bündel von Eisendraht, welches mit seiner unteren Polfläche ein wenig aus der Oeffnung der Holzrolle hervorragt. Das eine Drahtende *z* der inneren Spirale steht mit dem einen Pole, das andere *x* von *y* aus mit dem anderen Pole einer constanten Kette in Verbindung. Zwischen den beiden Schraubenhülsen *x* und *y* bildet das Stück der Leitung *fehp* den Stromunterbrecher. Es besteht dieser aus einem Kupferdrahte, der bei *f* durch Breitschlagen einen federnden Theil erhalten hat, mit welchem er an die Schraubenhülse *x* gelöthet oder geschraubt wird. Unter dem Elektromagnete ist auf ihm ein Eisenblättchen *e* befestigt, und bei *h* ist er abwärts gebogen, endigt sich dort in eine Verstärkung *h*, den Hammer, der in eine

Platinspitze auslaufen kann, und womit sich der federnde Leiter auf die Kupferplatte p, den Ambos, stützt. Ruht nun jene Hammerspitze auf dem Ambose, so ist die Kette geschlossen, und das dadurch magnetisch gewordene Drahtbündel m zieht das Eisenblättchen e an und entfernt zugleich den Hammer h vom Ambose p. Dadurch aber wird die Kette geöffnet, im Drahtbündel verschwindet der Magnetismus, der Hammer mufs also wieder niederfallen und am Ambose die Kette von Neuem schliefsen, worauf dasselbe Spiel abermals beginnt und so lange fortdauert, als die Verbindung mit dem Volta'schen Erregungsapparate nicht ganz aufgehoben wird.

Die Funken des Extrastromes entstehen zwischen Hammer und Ambos, und sie fallen besonders lebhaft aus, wenn die Fläche des letzteren frisch amalgamirt ist. Die Erschütterungsschläge dieses Stromes werden erhalten, sobald man die Metallconductoren bei x und y mit dem Leiter des Extrastromes in Verbindung setzt. Um die thermischen, chemischen und magnetischen Wirkungen dieses Stromes nachzuweisen, sind die dieser Wirkung zu unterwerfenden Körper ebenfalls zwischen die Schraubenhülsen x und y einzuschalten, so dafs bei der Unterbrechung des Hauptstromes durch sie der Kreis der Kette geschlossen ist.

Will man aber die physiologischen Wirkungen des secundären Stromes benutzen, dann müssen die Conductoren mit den Drahtenden der dazu bestimmten äufseren Inductionsspirale verbunden werden.

Bei langen Inductionsdrähten und einem starken Drahtbündel sind, vorzüglich wenn der primäre Strom von einer Platin- oder Kohlenkette ausgeht, die Erschütterungsschläge kaum zu ertragen, und sie können selbst durch eine Reihe von 50 und mehr Personen hindurch gehen, sobald sich diese mit benäfsten Händen anfassen (s. Poggendorff's Ann. XLVI, S. 104, I, S. 236, Eisenlohr's Lehrb. d. Phys., 3. Aufl., S. 645, und Pouillet's Lehrb. d. Phys., bearb. v. Dr. Müller I, S. 532).

§. 584.

Nach Entdeckung der magneto-elektrischen Inductionsströme sannen mehre Physiker auf Mittel, diesen Strömen sowohl Continuität zu verschaffen, als auch ihre alternirende Richtung nach Erfordern in eine stetige zu verwandeln. Solche diese Bedingungen erfüllende Apparate sind die sogenannten magneto-elektrischen Rotationsma-

schinen. Sie können durch ihre Wirkungen theils die Stelle einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, theils die einer Volta'schen Säule vertreten, indem man durch sie ebenso wie durch diese elektrische Funken, Erglühungen und Schmelzungen von Metalldrähten, das intensive Licht an Kohlenspitzen, physiologische Effecte, chemische Zersetzungen und magnetische Wirkungen verschiedener Art hervorbringen kann. Die erste Maschine dieser Art wurde 1832 von Pixii construirt (s. Poggendorff's Ann. XXVII, S. 390), bald nachher erhielt sie von Saxton und Clarke eine zweckmäfsigere Einrichtung (s. Poggendorff's Ann. XXXIV, S. 401, 404 und XL, S. 223), und in neuerer Zeit haben sich um ihre Vervollkommnung v. Ettinghausen und Dove insbesondere verdient gemacht. (S. d. Bericht über die Versammlung deutscher Naturforscher in Prag. Prag 1838, S. 227 und Pouillet's Lehrb. d. Phys. bearb. von D. Müller I, S. 541, so wie Poggendorff's Ann. LVI, S. 251, 268.)

Eine solche Maschine besteht aus drei wesentlichen Haupttheilen, nämlich aus einer starken magnetischen Hufeisenbatterie von 50 bis einigen 100 Pfund Tragkraft, einem hufeisenförmigen oder zweischenkeligen Anker von weichem Eisen und zwei Inductionsspiralen, wovon jede einen Schenkel jenes Ankers umgiebt. Die Magnetbatterie ist derjenige Theil der Maschine, von welchem ununterbrochen die inducirende Wirkung ausgeht, und welcher die Stelle eines permanenten elektrischen Stromes vertritt. Der Anker bildet mit den unter sich verbundenen Inductionsspiralen ein Ganzes und ist der Maschinentheil, auf welchen der Magnet die Inductionswirkung ausübt, indem nämlich die Ankerschenkel in Folge der magnetischen Vertheilungswirkung selbst magnetisch werden, woraus dann in den Spiralen die secundären Ströme entspringen. Dieser

Inductionsanker oder sogenannte **Inductor** ist zu diesem Zwecke an eine zwischen seinen Schenkeln hindurchgehende metallene Axe befestigt, durch welche er, mittels eines Schnurrades, in schnelle rotirende Bewegung versetzt werden kann, während welcher dann seine Schenkel ganz in der Nähe der Pole des Magnetes vorbeigehen. Dadurch kommen die Inductorschenkel *sn* Fig. 391 [a] und die Pole *N S* des Magnetes abwechselnd in zwei entgegengesetzte Lagen einander gegenüber zu stehen und werden dann schnell wieder von einander entfernt, so dafs der Schenkel *s*, der sich z. B. eben vor dem Magnetpole *N* befand, nach einer halben Umdrehung seine vorige Stellung wieder einnimmt. Während einer solchen halben Umdrehung des Inductors, durch die seine Schenkel in die entgegengesetzte Lage vor die Magnetpole, also *s* vor *S* und *n* vor *N* zu stehen kommen, wird in dem geschlossenen Drahtgewinde der Spiralen ein continuirlicher Strom von einerlei Richtung, jedoch von veränderlicher, nämlich bis zu einem Minimum abnehmender und hierauf wieder steigender Intensität erzeugt. Haben die Inductionsschenkel die neue Polstellung erreicht, so alternirt in ihren Spiralen die Stromrichtung, und bei weiterer Drehung findet bis zur nächsten Opposition der Ankerschenkel und Magnetpole eine gleiche Intensitätsänderung in dem neu eingetretenen Strome statt, so dafs bei fortgesetzter Rotation des Ankers in gleicher Weise die Richtungen und Stärken der Ströme wechseln. Damit nun aber die in den Spiralen inducirten Ströme ohne oder mit Unterbrechung in einerlei Richtung durch beliebige Leiter geführt werden können, müssen die beiden freien Drahtenden von jenen mit einem Theile der Rotationsaxe des Inductors so verbunden werden, dafs derselbe dann gewissermafsen die beiden Pole enthält, von welchen der Strom ausgeht. Zu diesem Zwecke bekommt jener

Theil zunächst eine solche Einrichtung, dafs er die Stelle eines Commutators oder Gyrotropen (§ 551) vertritt, wodurch dann nach jeder halben Umdrehung die Richtung des Stromes in den Inductionsdrähten umgekehrt und, da diese Umkehrung jener in dem Anker des Inductors entgegengesetzt ist, der Strom in constanter Richtung erhalten wird. Zur Erlangung von Stromunterbrechungen, wie dieſs für manche Wirkungen nothwendig ist, muſs an dem Commutator noch eine Vorrichtung angebracht sein, durch die während jeder halben Umdrehung des Inductors in der Lage, wo der Strom die gröſste Intensität besitzt, die Continuität der Leitung für einen Augenblick aufhört. Die Mittel, durch welche der eine oder der andere dieser Zwecke zu erreichen ist, sind verschiedenartig, und darin unterscheiden sich hauptsächlich die von mehren Physikern angegebenen Einrichtungen solcher Apparate.

Um aber die verschiedenen bereits oben angeführten Effecte mit einem solchen magneto-elektrischen Strome gehörig hervorbringen zu können, hat man auch noch auf den Leitungswiderstand Rücksicht zu nehmen, den jener Strom in den seiner Wirkung ausgesetzten Körpern zu überwinden hat. Ist dieser Widerstand nur gering, so braucht man den Inductionsspiralen keine grofse Zahl der Windungen zu geben; es wird für sie aber ein dickerer Draht angewendet, auch vereinigt man die Drahtenden jeder der beiden Spiralen so mit einander, dafs der Strom in ihnen nach einerlei Richtung fortgeht, wo dann der ganze Draht als einer von halber Länge, aber doppelter Stärke wirkt. Die Stromwirkungen eines solchen Inductors, den v. Ettinghausen den Quantitäts-Inductor nennt, sind denen einer einfachen hydroelektrischen Kette von grofser erregter Oberfläche analog. Es dient derselbe hauptsächlich zur Hervorbringung der Funken bei

der Unterbrechung des Stromes, der Glühphänomene und der magnetischen Wirkungen, bei welchen letzteren der Strom keine Unterbrechungen erleiden und seine Richtung nicht ändern darf. Hat dagegen der Strom einen gröfseren Widerstand zu überwinden, wie dieſs der Fall ist, wenn derselbe durch den menschlichen Körper geleitet werden soll, oder wenn man durch ihn eine chemische Zersetzung bewirken will, so muſs man seine Intensität zu steigern suchen, und dieſs erreicht man dadurch, daſs zu den Inductionsspiralen dünner Draht genommen wird, den man in mehren Tausend Windungen so aufwickelt, daſs er auf beiden Schenkeln des Ankers, wie bei der Aufwickelung auf einen Elektromagnet, ein fortlaufendes Ganze bildet. Mit dem Strome eines solchen Intensitäts-Inductors lassen sich dann eben solche Wirkungen wie mit einer vielplattigen Volta'schen Säule hervorbringen, weshalb derselbe hauptsächlich zur Erzeugung kräftiger physiologischer Wirkungen bei abwechselnder Unterbrechung des Stromes und zum Glühendmachen von Kohlenspitzen, so wie für chemische Actionen dient, wobei aber der Strom ohne Unterbrechung bleiben muſs und seine Richtung nicht ändern darf.

Eine magneto-elektrische Rotationsmaschine neuerer Construction stellt Fig. 391^a in oberer und Fig. 391^b in perspectivischer Seitenansicht vor. *NJS* ist die in horizontaler Lage befestigte magnetische Batterie, *s* und *n* sind die Inductionsspiralen des Ankers, welcher mit seiner Axe *ab* durch eine auf ihr befestigte Rolle *r*, die mittels einer Schnure ohne Ende mit dem Schnurrade *R* verbunden ist, in rotirende Bewegung versetzt werden kann, so daſs seine Polflächen ganz dicht an den Magnetpolen vorbeigehen. Der Theil *cb* der Axe ist derjenige, welcher als Commutator fungirt. Zu diesem Behufe besteht derselbe aus zwei Theilen, wovon der eine *m* mit dem Anker in metallischer Verbindung steht, der andere *p* aber von diesem durch eine über jenen geschobene Hülse von Horn oder Holz isolirt ist. Das freie Drahtende der einen Inductionsspirale steht bei *c* mit dem Anker, das der anderen Spirale auf der

entgegengesetzten Seite mit der isolirten Metallhülse p in leitender Verbindung, so dafs auf diese Weise die beiden Metallhülsen p und m die Enden der Spiralen vertreten, von welchen der Strom ausgeht. Von diesen Theilen erfolgt nun die Fortleitung des Stromes durch zwei Stahlfedern, wovon die eine f oberhalb, die andere g unterhalb auf jenen Metallhülsen liegt und welche, auf messingenen oder kupfernen Säulchen durch Preſsschrauben befestigt, mit den zwei Schraubenhülsen PM in leitender Verbindung stehen, die somit gewissermafsen die zwei Pole der ganzen Maschine abgeben. Nehmen wir nun an, dafs in der Lage der Inductionsspiralen, wie sie die Figur 391 a darstellt, P der positive und M der negative Pol wäre, so würde nach einer halben Umdrehung des Inductors P der negative und M der positive Pol werden, der Strom also nun von hier aus seinen Lauf in entgegengesetzter Richtung nehmen. So wie aber der Stromwechsel in den beiden Inductionsspiralen eintritt, alternirt auch der elektrische Zustand der Polflächen p und m des Commutators, und da zu gleicher Zeit, wo dieſs geschieht, die beiden Federn f und g, von welchen der Strom nach P und M geleitet wird, mit jenen entgegengesetzt elektrisch gewordenen Theilen pm in Berührung kommen, so entsteht auch dadurch ein nochmaliger Stromwechsel, weshalb also nun, wie leicht einzusehen, der Strom, wenn P und M leitend verbunden sind, in unveränderter Richtung von P nach N gehen muſs. Für die physiologischen Wirkungen und zur Erzeugung elektrischer Funken wird aber eine sich schnell wiederholende Unterbrechung des Stromes nothwendig. Diese muſs aber dann stattfinden, wenn derselbe seine gröſste Intensität erreicht, und dieſs ist der Fall, wenn die Inductionspiralen mitten zwischen den beiden Magnetpolen, also vertical über einander, wie in Fig. 391 b stehen. Zu diesem Zwecke befinden sich nun in der Mitte der beiden Hälften p und m des Commutators, also um 90° von den Stellen entfernt, wo der Stromwechsel eintritt, Vertiefungen oder Löcher o Fig. 391 a. Die gabelförmige Feder f wird dann so gestellt, dafs die eine Hälfte auf den Theil der Hülse p zu liegen kommt, wo sie ohne Unterbrechung fortschleift, während die andere nun in die Lage rückt, in welcher sie bei der Drehung des Inductors in die Vertiefungen o einfällt und dadurch die Leitung so wie den Strom unterbricht, und eben so bringt man auch die zweite Feder g durch eine kleine Verrückung auf das nicht unterbrochene Stück der Commutatorhülfte m. Diese veränderte Stellung der Federn ist in Fig. 391 c angegeben.

Um mit einer solchen Maschine physiologische Wirkungen hervorzubringen und namentlich die magneto-elektrischen Erschütterungen in rascher Folge durch den menschlichen Körper zu

gegengesetzten Seite. Später gelang es aber auch Faraday, auf verschiedene Weise unmittelbar durch den Einfluſs des Erdmagnetismus in bewegten geschlossenen Leitern inducirte Ströme hervorzubringen. Werden z. B. die Enden eines um einen rechteckigen Holzrahmen von etwa zwei Fuſs Seite multiplicatorisch aufgewickelten Kupferdrahtes mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden, und bewegt man den Rahmen, während er sich z. B. mit seiner Ebene im magnetischen Meridiane befindet, rasch um seine horizontale Seite so, daſs er die Lage von West nach Ost annimmt, so giebt der Ausschlag der Magnetnadel das Entstehen eines elektrischen Stromes zu erkennen, welcher dem Erdstrome von Ost nach West nach Ampère's Hypothese entsprechend ist. Bei der rückgängigen Bewegung, oder bei der Entfernung des Leiters aus dieser Lage erfolgt die Ablenkung der Nadel nach der entgegengesetzten Seite. Diese Wirkungen, welche an sich ziemlich schwach sind, können aber durch mehre den Schwingungen der Nadel entsprechende Bewegungen so verstärkt werden, daſs jene selbst bis zu 180° aus ihrer normalen Lage abweicht (s. Faraday's 2. Reihe d. Experimentaluntersuchungen in Poggendorff's Ann. XXV, S. 142, § 140—148 und 170—179).

§. 586.

Auf den durch magnetische Induction erregten elektrischen Strömen beruhen endlich auch noch alle die Erscheinungen, welche vorzüglich leitende Körper hervorbringen, wenn sich über ihnen Magnete bewegen, oder wenn umgekehrt jene Körper unter der Einwirkung von Magneten in Bewegung versetzt werden. Man kann dabei zweierlei Erscheinungsformen unterscheiden, nämlich die, welche bei Schwingungen von Magnetnadeln in der Nähe

solcher Körper sich zeigen, die nicht zu den magnetisirbaren gehören, und solche, welche zwischen einem Magnet und einem solchen Körper eintreten, sobald einer von beiden Körpern in der Nähe des anderen in rotirende Bewegung versetzt wird. Dem Inbegriffe aller hierbei sich zeigenden Phänomene hat man die Benennung des Rotations-Magnetismus gegeben.

§. 587.

Zu den Schwingungsphänomenen gehören die Hemmungen, welche eine über einer Metallplatte oscillirende Magnetnadel erleidet. Es fallen nämlich bei ungestörtem Isochronismus der Schwingungen die Schwingungsbögen sowohl einer Abweichungs- und einer Neigungsnadel, als auch die eines pendelnden Magnetes kleiner aus, sobald diese Bewegungen in der Nähe solcher Metallmassen vor sich gehen. Dabei ist diese Influenz der Metalle unter sich verschieden, am beträchtlichsten beim Kupfer und Silber, am geringsten beim Quecksilber, und aufserdem nimmt dieser hemmende Einfluſs bei allen Metallen mit der Annäherung des schwingenden Magnetes zu.

Schon die von Coulomb (1802) und Hansteen beobachteten Phänomene (vergl. § 468) beruhten auf denselben Wirkungen, Arago aber untersuchte zuerst, gegen das Ende des Jahres 1824, den Einfluſs näher, den die verschiedenen Metalle auf eine in ihrer Nähe schwingende Magnetnadel ausüben (s. Poggendorff's Ann. III, S. 343 und Gehler's phys. Wrtb. n. A, IV, S. 723). Seebeck verfolgte diese Erscheinungen weiter und gelangte dabei zu folgenden Hauptresultaten. Er fand nämlich zuerst die Reihenfolge der Metalle, in welcher sie progressiv stärker jene hemmende Wirkung äufsern. Eine Abweichungsnadel nämlich, welche in freier Luft bei 216 Schwingungen ihren Bogen von 45° bis auf 10° verminderte, erlitt in einem 3 Linien betragenden Abstande von nachstehenden Metallen dieselbe Beschränkung ihrer Excursion:

über Quecksilber nach 112 Schwingungen.
- Wismuth - 106 -
- Platin - 94 -

über Antimon	nach	90	Schwingungen,
- Blei	-	89	-
- Gold	-	89	-
- Zink	-	71	-
- Zinn	-	68	-
- Messing	-	62	-
- Kupfer	-	62	-
- Silber	-	55	-
- Eisen	-	6	-

Hierbei zeigte es sich, dafs die Hemmung mit der Vermehrung der Platten oder mit der Dicke der einzelnen zunahm, aber nur bis zu einer gewissen Gränze, wogegen bei Vergröfserung derselben in der Fläche kein derartiger Einfluſs bemerkbar war; ferner dafs die Wirkung bei allen Metallen im geraden Verhältnisse mit der Entfernung abnimmt; dafs die Zahl der Schwingungen keine Aenderung erleidet, wenn zwischen das Metall und die Magnetnadel Glas, Holz oder Papier gebracht wird; dafs diefs eben so wenig bei Erwärmung der Metallplatten stattfindet; dafs dagegen jede Aufhebung des stetigen Zusammenhanges in den Theilen der Platten die Hemmungswirkung verminderte und dafs endlich schwerere Magnetnadeln mehr afficirt werden, als leichtere (s. Gehler's phys. Wrth. n. A. IV, S. 724).

Später (1826) fand Arago, dafs auch nichtmetallische Stoffe, wie Wasser, Eis, Glas u. s. w. ebenfalls einen solchen störenden, obgleich geringeren Einfluſs auf schwingende Magnete ausüben (s. Poggendorff's Ann. VII, S. 485).

§. 588.

Mit den so eben erklärten Erscheinungen hängen diejenigen genau zusammen, welche eintreten, sobald ein ruhender Magnet über einer in rasche Umdrehung versetzten Metallscheibe schwebt, oder sobald unter einer an einem Faden horizontal aufgehangenen solchen Platte ein mit seinen Polen aufwärts stehender Hufeisenmagnet in rotirende Bewegung gebracht wird. Es sind diefs die eigentlichen magnetischen Rotationsphänomene, welche zuerst von Arago (1826) beobachtet und seitdem von vielen anderen Physikern bestätigt gefunden wurden.

Es zeigen sich dabei nämlich folgende verschiedene Erscheinungen:

Eine in der Nähe über einer Metallplatte schwebende Abweichungsnadel wird nämlich, bei schneller Drehung der Platte um ihren Mittelpunct, aus ihrer polaren Stellung abgelenkt. Ihre Abweichung tritt in der Richtung ein, in welcher die Platte rotirt, sie nimmt mit der Schnelligkeit der Drehung zu, und ist ihre Ablenkung bis 90° gewachsen, so folgt sie in fortgesetzter Rotation der Bewegung der Platte (s. Poggendorff's Ann. II, S. 343, Gehler's phys. Wrtb. n. A. VI, 735 und Marbach's phys. Lex. III, S. 565).

Babbage und Herschel haben den vorigen Arago'schen Versuch gerade umgekehrt. Sie liefsen nämlich den Magnet unter einer horizontal schwebenden Metallplatte rotiren, wobei die Platte seiner Bewegung ebenso folgte, wie diefs beim vorher angegebenen Falle mit dem Magnete eintritt (s. Marbach's phys. Lex. III, S. 567).

Erster Versuch. Am einfachsten läfst sich zu solchen Rotationsversuchen die Centrifugalmaschine (Fig. 6) gebrauchen, wenn man auf ihrer Drehungsaxe eine nicht zu schwache (etwa eine oder einige Linien starke) Kupferscheibe befestigt, wodurch diese dann in beliebig schnelle Umdrehung versetzt werden kann. Ueber die Scheibe kommt ein Tischchen (Fig. 392) zu stehen, welches eine der Gröfse jener Kupferscheibe entsprechende Oeffnung hat, die mit einer Glasplatte verschlossen ist und der sich drehenden Metallplatte möglichst nahe gebracht werden mufs. Auf jene Glasplatte wird nun eine passende Glasglocke gestellt, in welcher ein stark magnetischer Stahlstab *ns* an einem ungedrehten Faden von Seide in horizontaler Lage schwebend erhalten und durch die Rolle *r* gehoben und gesenkt werden kann. — Die Intensität der Wirkung, welche dann die rotirende Metallscheibe auf den Magnetstab hervorbringt, ist bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit am stärksten, wenn dieser der Glastafel am nächsten ist, und sie vermindert sich in dem Grade, wie man ihn durch Aufwinden des Fadens von der rotirenden Platte entfernt.

Zur Anstellung dieses Rotationsversuches soll man nach Dr. Böttger sich statt eines gewöhnlichen zweipoligen Magnetes eines solchen bedienen, dessen beide Enden gleich starke gleichnamige Pole sind. Dergleichen Magnete verhalten sich gegen

den tellurischen Magnetismus fast ganz indifferent, sind dabei aber zugleich stark magnetisch, welcher letztere Umstand ein Haupterfordernifs ist, um einen wirksamen Erfolg des Rotationsmagnetismus zu erhalten. Ein solcher dreipoliger Magnet soll augenblicklich der in Bewegung versetzten Kupferscheibe folgen, selbst wenn diese nur mäfsig schnell gedreht wird (s. Dr. Böttger's Beitr. z. Phys. und Chem. H. II, S. 1). — Wie man sich eine solche astatische oder neutralisirte Magnetnadel auf einfache Weise herstellen kann, wurde bereits § 459 und § 572 angeführt, wobei noch zu bemerken ist, dafs die auf letzterem Wege durch den elektrischen Strom erhaltenen gewöhnlich stärker und vollkommener neutralisirt sind.

Zweiter Versuch. Wird auf der Axe der Centrifugalmaschine statt der Kupferscheibe ein kräftiger Hufeisenmagnet mit seinen Schenkeln aufwärts befestigt und unter der Glasglocke statt des Magnetstabes eine Kupferscheibe horizontal schwebend aufgehangen, so folgt diese bei beginnender Rotation des Magnetes seiner Bewegung.

Bei beiden Versuchen verändert sich die Stärke der Wirkung, wenn man statt des Kupfers Scheiben von anderen Metallen anwendet. Babbage und Herschel haben den verschiedenen Grad der magnetischen Erregungsfähigkeit der Metalle auf doppelte Weise untersucht. Wird die magnetische Kraft des Kupfers = 1 gesetzt, so ergaben die Resultate der einen Untersuchungsmethode folgende Reihenfolge der Metalle, bei welcher die nebenstehenden Zahlen das Verhältnifs ihrer magnetischen Kräfte gegen die des Kupfers ausdrücken:

Kupfer	1,00
Zink	0,90
Zinn	0,47
Blei	0,25
Antimon	0,11
Wismuth	0,01.

Nach der anderen Versuchsweise ergab sich folgende Reihe:

Zink	1,11
Kupfer	1,00
Zinn	0,51
Blei	0,25
Antimon	0,01.

Was die übrigen Metalle betrifft, so schien das Silber in der angegebenen Reihenfolge eine hohe, das Gold eine tiefe Stelle einzunehmen, Quecksilber soll hinsichtlich seiner magnetischen Kraft die Stelle zwischen Antimon und Wismuth einnehmen.

Nichtmetallische Stoffe zeigen nur sehr geringe Wirkungen, und durchbrochene Metallscheiben wirken schwächer als stetig zusammenhängende.

Schirme nicht magnetisirbarer Substanzen, d. h. solche, welche nicht in der Art wie Eisen und Stahl magnetisch werden, üben keinen Einfluſs aus.

Jede rotirende Metallscheibe übt sowohl auf den Nordpol als auf den Südpol eines vertical über ihr hängenden Magnetstabes eine Abstoſsung aus. Diese Wirkung läſst sich auf folgende Art nachweisen.

Dritter Versuch. An einem Wagbalken bringe man einen vertical herabhängenden Magnetstab ins Gleichgewicht. Wird er in dieser Ruhelage nahe über eine Kupferscheibe gebracht, und diese in rotirende Bewegung versetzt, so steigt der Arm der Wage in die Höhe, an welcher der Magnetstab hängt, es mag nun sein Nord- oder sein Südpol nach unten gekehrt sein.

Jede rotirende Metallscheibe hat einen Indifferenzring, über welchem eine vertical herabhängende Magnetnadel sich in ihrer Lage nicht ändert, während sie innerhalb desselben zum Mittelpuncte hin, auſserhalb desselben aber vom Mittelpuncte weggestoſsen wird. Der folgende Versuch bestätigt dieſs.

Vierter Versuch. Wird eine empfindliche Inclinationsnadel, deren Axe man eine verticale Stellung entweder durch Beschwerung ihres Nordpoles oder dadurch ertheilt hat, daſs man ihre Drehungsaxe in den magnetischen Meridian stellt, über eine rotirende Kupferscheibe so gebracht, daſs ihre Bewegung in der Richtung des Radius der Scheibe erfolgen muſs, so zeigen sich folgende Wirkungen:

a.) Steht der Nordpol über der Mitte der Scheibe, so bleibt die Nadel in Ruhe.

b.) Rückt man sie etwas auſserhalb des Mittelpunctes, so wird sie bis zu dem Indifferenzringe nach dem Centro abgelenkt.

c.) Ueber dem Indifferenzringe nimmt sie wieder die verticale Stellung an.

d.) Auſserhalb dieses Ringes tritt eine Ablenkung nach der Peripherie zu ein.

Statt der Inclinationsnadel kann man sich auch [illegible] magnetisirten Nähnadel bedienen, welche man an [illegible] Seidenfaden hängend über die Scheibe in diese [illegible] Lagen bringt.

Arago suchte die drei [illegible] welche eine rotirende Metal[illegible]

erklären, dafs er dreierlei Wirkungsrichtungen annahm, nämlich eine, die rechtwinkelig gegen den Halbmesser der Scheibe oder tangential zu ihrer Drehungsrichtung steht, eine zweite, die normal von der Ebene der Scheibe fortgeht, und eine dritte, die in der Richtung des Halbmessers oder radial und zwar vom Indifferenzpuncte jedes Halbmessers nach entgegengesetzten Richtungen ausgeht. Der ersten Richtung entspricht die rotirende Bewegung des Magnetes oder der Metallscheibe, der zweiten die Abstofsung der Magnetpole von der rotirenden Metallfläche, und aus der dritten entspringen die entgegengesetzten Ablenkungen der Inclinationsnadel von dem Indifferenzkreise der sich drehenden Scheibe.

§. 589.

Da man die Erscheinungen des Rotationsmagnetismus früher als die Entstehung elektrischer Ströme durch Magnete kennen lernte, so suchte man dieselben auch Anfangs aus einer gewöhnlichen Vertheilungswirkung des Magnetismus zu erklären. Faraday aber erkannte in den durch die Einwirkung von Magneten erregten elektrischen Strömen die eigentliche Ursache zu allen diesen Erscheinungen, und es gelang auch diesem erfahrenen Experimentator bald, durch Versuche die Richtigkeit dieser Ableitung zu beweisen, indem er nämlich das Entstehen solcher magnetoelektrischen Ströme in einer Kupferplatte, die in der Nähe eines kräftigen Magnetpoles bewegt wurde, durch Hilfe eines Galvanometers nachwies. (S. Faraday's erste Reihe der Experimentaluntersuchungen in Poggendorff's Ann. XXV, S. 120—142, Nobili ebendaselbst XXVII, S. 401, so wie in Baumgartner's Zeitschrift f. Phys. und Mathem. I, S. 143, II, S. 419, IV, 93, und Dove's Report. der Phys. I, 292—305.)

Diese Versuche, durch welche Faraday die Richtigkeit seiner Annahme bestätigt erhielt, waren folgende:

Erster Versuch. Er brachte eine um eine horizontale Axe drehbare kupferne Scheibe *K* Fig. 393 zwischen die beiden Pole *SN* eines kräftigen Hufeisenmagnetes, so dafs ihr oberer Rand in die Ebene der Polflächen fiel, wie es in der Zeichnung dargestellt ist, oder auch noch etwas zwischen die Schenkel des Magnetes hinauf ragte. Wurde hierauf das eine Drahtende eines empfindlichen Galvanometers mit dem amalgamirten Rande der Kupferscheibe in Berührung gebracht, das andere aber mit ihrer metallischen Axe leitend verbunden, so wich die Galvanometernadel aus, sobald die Scheibe rotirte, und zwar hing die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab. Einmal nämlich zeigte die Nadel einen Strom an, der von der Mitte der Scheibe zum oberen Rande, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung aber vom Rande nach der Mitte ging.

Beide Stromrichtungen traten dem magnetischen Inductionsgesetze (§ 580) entsprechend ein, wie sich aus Fig. 394 erläutern läfst. Es mögen nämlich die Quadrate *S* und *N* die beiden Pole des Hufeisenmagnetes, und die in ihnen angegebenen Pfeile die Richtungen ihrer Ströme nach der Ampère'schen Hypothese darstellen. Man ersieht daraus, dafs diese Ströme an den Polflächen, die einander gegenüber stehen, an den Seiten also, die bei dem beschriebenen Versuche der rotirenden Scheibe zugekehrt sind, gleiche Richtung haben. Rotirt nun die Scheibe so, dafs sich ihr oberer Rand in derselben Richtung wie diese Ströme, also in der Richtung des Pfeiles *ab* bewegt, so zeigt der Galvanometer einen Strom an, der von der Mitte der Scheibe zu ihrem Rande geht; ist aber die Rotationsrichtung der Scheibe die entgegengesetzte, so giebt der nun erfolgende Ausschlag der Nadel zu erkennen, dafs der eintretende Strom jetzt vom Rande zum Mittelpuncte der Scheibe fliefst.

Wird die Verbindung der Scheibe mit dem Galvanometer aufgehoben, so können auch die inducirten Ströme ihren Lauf nicht mehr durch das Drahtgewinde desselben nehmen, sondern sie müssen ihre Bahn in der Scheibe selbst zurücklegen, und aus diesen Strömen entspringen die verschiedenen Wirkungen auf die Pole der Magnete, welche diese Inductionswirkung hervorbrachten.

Zweiter Versuch. Nachdem durch den ersten Versuch das Auftreten inducirter Ströme unter den erwähnten Einwirkungen constatirt worden war, nahm Faraday einen geradlinigen, an seinen Rändern amalgamirten, Kupferstreifen *ab* Fig. 395, an welchen er die gleichfalls amalgamirten Kupfercylinder *cd* anlegte, die mit dem Galvanometer *g* in leitender Verbindung

standen und dadurch den geschlossenen Leiter *cgd* bildeten, stellte auf jenen Kupferstreif den Nordpol *n* eines kräftigen Magnetes und bewegte den Streif unter diesem z. B. nach der Richtung *ab* fort. Dieser Pol erregte dann in der geschlossenen Leitung einen Strom, welcher, wie die Galvanometernadel anzeigte, von *n* über *d* nach *g* und *c* fortlief, welche Richtung auch vollkommen dem Inductionsgesetze entspricht. Berücksichtigt man nämlich die in diesem Pole vorhandenen Ströme, wie sie Ampère annimmt und wie sie in der Figur durch die Pfeile bezeichnet sind, so mufs in jedem Elemente des Kupferstreifens *ab*, welches sich diesem Pole nähert, z. B. in dem *ef*, weil darauf der Stromtheil *os* stärker als der *wn* einwirkt, ein Strom von *e* nach *f* entstehen. Rückt dieses Element bis unter den Pol, oder kommt es in die Lage *dc*, so entfernt es sich nun vom Strome *os*, nähert sich dagegen dem *wn*, und es müssen dann beide Ströme, in gleichem Sinne inducirend wirkend, einen verstärkten Strom in der Richtung von *c* nach *d* erzeugen. Geht *ef* noch weiter, kommt es z. B. in die Lage *hk*, so entfernt es sich wieder von dem Stromtheile *wo*, und defshalb mufs nun in ihm der Strom wieder in der Richtung von *h* nach *k* fortgehen. — Wurde bei diesem Versuche entweder der Kupferstreifen in der entgegengesetzten Richtung fortbewegt, oder statt des Nordpoles der Südpol darauf gestellt, so traten gerade die entgegengesetzten Stromrichtungen ein.

Diesen Versuchen gemäfs und in Uebereinstimmung mit dem Gesetze der magnetoelektrischen Induction kann ein in verticaler Stellung mitten über einer rotirenden Metallscheibe stehender Magnetstab in dieser keinen Strom erregen, weil bei einer solchen Stellung des Magnetes zur Scheibe kein Annähern und Entfernen derselben zum oder vom Magnete stattfindet. Sobald sich aber der Magnetpol aufserhalb des Mittelpunctes der Platte befindet, wird dieser Ströme in der Platte induciren, welche an den sich den Polen nähernden Stellen gerade die entgegengesetzte Richtung, wie die nach Ampère im Magnete selbst vorhandenen, an den vom Pole sich entfernenden Theilen dagegen dieselbe Richtung haben müssen. Demnach herrscht zwischen dem Magnete und den sich ihm nähernden Stellen der sich drehenden Scheibe Abstofsung, zwischen ihm und den sich vom Magnete entfernenden hingegen Anziehung,

on der Resultirenden dieser zwei Kräfte hängt sowohl ngentielle, als auch die normale Wirkung der Platte, e diejenige ab, welche nach der Richtung der Radien t.

efindet sich über der Metallplatte blos ein Pol, wie ei einem vertical stehenden Magnetstabe der Fall ist, d dieser von den zwei entgegengesetzten Stromsyste- n der Art afficirt, daſs das sich ihm nähernde ab- id, das sich von ihm entfernende anziehend auf ihn kt, wodurch die Abstoſsung gegen die Anziehung bergewicht erhält, welches die Entfernung des Poles er Platte zur Folge hat.

Die Fig. 396 möge dazu dienen, diese Wirkung noch an- licher zu machen. Stellt der gröſsere Kreis die in der tung der Pfeile *w* und *o* rotirende Kupferscheibe und *n* den pol eines Magnetes vor, so entspricht der Theil *ab* der be dem Kupferstreifen bei dem zweiten Faraday'schen che, und der unter dem Pole in der Scheibe entstehende n muſs, nach dem ersten Versuche, von der Mitte nach der herie, also von *m* nach *p* gehen. Steht aber der Südpol *s* der Scheibe und ist a^1 b^1 die Richtung, in welcher dieselbe unter ihm weg bewegt, so geht der inducirte n *qm* von der Peripherie zur Mitte. — Bei der in der Figur chneten Drehung der Scheibe nähert sich der Strom *mp* Stromtheile des Magnetes, welchen er abstöſst, und ent- sich von dem, welchen er anzieht, wodurch die Abstoſs- egen die Anziehung überwiegend wird, und eben so ist dieſs mit dem Strome *qm* bei dem Südpole des Magnetes der weſshalb bei beiden Polen eine Abstoſsung von der Platte gen muſs.

chwebt ein Magnetstab horizontal über einer rotiren- etallplatte, so suchen die zwei in der Platte entsteh- Systeme der elektrischen Strömungen beider Pole, l an den sich diesen nähernden als auch an den sich nen entfernenden Stellen, den Magnet nach ng fortzubewegen, wie sich aus der eichneten Strompfeilen ergiebt.

Wirkung resultirt, die den Magnet in der Richtung der Drehung der Scheibe forttreibt.

Auch aus dem Gesetze, nach welchem ein unter einer Magnetnadel wegfliefsender Strom auf diese ablenkend einwirkt (§ 551), läfst sich dieser Fall des Rotationsmagnetismus einfach erklären. Stellt nämlich in der Fig. 397 der gröfsere Kreis die Kupferscheibe, die in der Richtung der Pfeile *w* und *o* rotirt, vor, so entsteht, nach dem vorher Erklärten, unter dem Nordpole *n* ein Strom, der von der Mitte nach der Peripherie, also von *m* nach *p*, unter dem Südpole *s* dagegen ein solcher, der vom Rande nach der Mitte, von *q* nach *m* läuft. Beide Ströme vereint fliefsen also bei dieser Drehung der Scheibe von dem Südpole nach dem Nordpole unter dem Magnete weg, defshalb müssen der Nord- und der Südpol von diesen Strömen in derselben Richtung abgestofsen werden, wie die Rotation der Scheibe vor sich geht (vergl. S. 1020, 1.), und ganz auf dieselbe Weise ist auch die Bewegung des Magnetes erklärlich, wenn die Scheibe nach der entgegengesetzten Richtung in Drehung versetzt wird.

Denkt man sich endlich über einer Stelle der rotirenden Scheibe den Pol einer vertical stehenden Neigungsnadel, die sich nur nach der Richtung eines Radius der Scheibe bewegen kann, und zugleich einen Kreis aus der Stelle der Platte beschrieben, über welcher sich jener Pol als Punct betrachtet befindet, der die Wirkungssphäre dieses Poles vorstellt, so fällt der Erfolg der Wirksamkeit der elektrischen Ströme verschieden aus, je nachdem dieser Kreis ganz in die rotirende Scheibe fällt oder über dieselbe hinaus ragt, und je nachdem er den Mittelpunct derselben in sich aufnimmt oder nicht. Fällt dieser Kreis ganz in die Scheibe, und liegt der Mittelpunct der Platte aufserhalb desselben, so wird der Pol nach der Richtung des Radius der Scheibe von gleichen entgegengesetzten Kräften afficirt, und die Nadel bleibt in Ruhe. Sie befindet sich dann nämlich über dem Indifferenzringe der Platte, dessen Breite, wie leicht begreiflich ist, von der Gröfse der Wirkungssphäre des Magnetpoles abhängt. Rückt man den Magnetpol der Mitte der Scheibe so nahe, dafs ihr Centrum in-

nerhalb jenes Wirkungskreises liegt, so erhält, wegen des indifferenten Verhaltens des Mittelpunctes, die nach auswärts wirkende Kraft der elektrischen Ströme das Uebergewicht, und die Neigungsnadel wird nach dem Centrum hin abgelenkt. Nähert man aber den Magnetpol dem Rande der Scheibe, so dafs sein Wirkungskreis zum Theil über denselben hinausfällt, so erhalten die inneren Stromtheile das Uebergewicht, und die Nadel weicht nun nach der Peripherie hin aus.

Bezeichnet in der Fig. 398 der gröfste Kreis wieder die in der Richtung der äufseren Pfeile rotirende Kupferscheibe, stellen *n* die über ihr in den verschiedenen oben bezeichneten Lagen befindlichen Nordpole des Magnetes vor, und deuten die um diese Pole gezogenen kleineren Kreise ihre Wirkungssphären, die in ihnen angegebenen Pfeile aber die Richtung der elektrischen Ströme im Magnete an, so gehen bei dieser Drehungsrichtung der Scheibe, nach den Faraday'schen Fundamentalversuchen, die inducirten Ströme von der Mitte zur Peripherie unter den Polen weg, und beide Stromtheile *on* und *np*, *mn* und *nq*, *rn* und *ns* wirken abstofsend, jedoch in entgegengesetzten Richtungen auf die Magnetpole ein. Man sieht dann, dafs in der Lage I. die Stromtheile *on* und *np* gleich stark abstofsend einwirken, weshalb die Lage des Magnetpoles unverändert bleibt; in der Lage II. aber, wo der Mittelpunct *m* in der Wirkungssphäre des Poles liegt, ist die abstofsende Wirkung des Stromtheiles *nq* gegen die von *mn* überwiegend, und der Pol wird dadurch nach der Mitte getrieben; in der Lage III endlich, wo ein Theil der Wirkungssphäre des Poles aufserhalb der Platte liegt, ist die abstofsende Wirkung des Stromtheiles *rn* gröfser, als die von *sn*, weshalb die Abweichung der Nadel nach dem Rande der Platte hin eintreten mufs.

Auch die Hemmungen, welche eine über einer Metallscheibe oscillirende Magnetnadel durch diese erleidet, finden hiernach eine ganz consequente Erklärung. Wenn nämlich ein Magnet über einer Metallplatte oscillirt, so erzeugt seine Inductionswirkung in der Platte das Bestreben, jenen Oscillationen zu folgen. Wenn aber die Metallscheibe diesem Antriebe nicht Folge leisten kann, so müssen offenbar die in ihr inducirten Ströme hemmend auf die Be-

wegung des Magnetes einwirken, weſshalb dann derselbe auch früher als sonst zur Ruhe kommen muſs.

Zufolge der Leichtigkeit und Allgemeinheit, mit welcher in Metallen, wenn sie sich unter der Einwirkung von Magneten und selbst unter der des Erdmagnetismus bewegen, elektrische Ströme erregt werden, und weil letzterer sein Dasein an jedem Orte der Erde durch den Einfluſs auf die Magnetnadeln beurkundet, ist Faraday selbst der Meinung, daſs keine Bewegung eines Metalles vor sich gehen könne, ohne daſs in demselben durch die Inductionswirkung des tellurischen Magnetismus elektrische Ströme erregt würden, sobald es während seiner Ortsveränderung mit anderen Metallmassen in Berührung ist, die entweder ruhen, oder auch in Bewegung, nur mit verschiedener Geschwindigkeit oder Richtung, begriffen sind. Nach seinen Untersuchungen folgert er selbst, daſs aus der Axendrehung der Erde und ihrem eigenen Magnetismus elektrische Ströme, sowohl in ihrer Masse, als auch in auf ihr befindlichen Körpern, die auf bedeutende Strecken im magnetischen Meridiane fortlaufen, resultiren könnten, nach welchen sich die Polarlichter (§ 548) als Entladungen der dadurch nach den Erdpolen getriebenen Elektricität erklären lieſsen, die durch natürliche und bestimmte Wege oberhalb der Erde nach den Aequatorialgegenden zurückzukehren suche. Bis jetzt aber ist es dem Scharfsinne Faraday's doch noch nicht gelungen, das Vorhandensein solcher Ströme durch Versuche mit Evidenz nachzuweisen. (S. d. 2. Reihe d. Exper. Unters. in Poggendorff's Ann. XXV, S. 142 — 161.)

§. 590.

Nach Angabe der verschiedenen Mittel, elektrische Ströme zu erregen, möge nun noch einer besonderen An-

wendung derselben gedacht werden, die in der neueren Zeit eine mehrseitige Modification und Vervollkommnung gefunden hat, nämlich der elektrischen Telegraphie.

Bei ihr benutzt man zum Träger der Gedanken, statt des bis jetzt dazu gebrauchten Lichtes, den elektrischen Strom, der durch geeignete gut von einander isolirte Leiter von seinem Ursprunge nach den Stationspuncten hin und von da wieder zurückgeleitet wird, um an jenen durch verschiedene Wirkungen die telegraphischen Zeichen zu geben. So lange man blos den Strom der Reibungs-Elektricität kannte, beschränkten sich die zu diesem Behufe schon im vorigen Jahrhundert angestellten Versuche darauf, den Entladungsstrom einer Leidener Flasche oder einer elektrischen Batterie dazu zu benutzen und durch die von ihm erzeugten Lichterscheinungen die Correspondenz zu bewerkstelligen. Diese elektrische Telegraphirung litt aber an mehren wesentlichen Mängeln, vorzüglich aber daran, dafs die Zeichen einander nicht schnell genug folgen konnten, und dafs es, wegen der grofsen Spannung der Reibungs-Elektricität schwierig war, der Fortleitung des Stromes die hinlängliche Isolirung zu verschaffen. Dieſs letztere Hinderniſs wurde später durch Anwendung des Volta'schen Stromes, dessen chemische Wirkungen man zum Telegraphiren benutzte, beseitigt, jedoch war auch hiermit noch nicht allen Anforderungen genügt. Sobald aber Oersted's glänzende Entdeckung des Elektromagnetismus bekannt geworden war, nach welcher selbst ganz schwache elektrische Ströme magnetische Wirkungen verschiedener Art hervorzubringen vermögen, erhielt die elektrische Telegraphirmethode einen neuen Impuls, und es exi
reits in Deutschland, England und Amerika .
legraphenlinien, durch welche ganz erw
tate erzielt worden sind. Als Stromerz

entweder hydroelektrische Batterieen oder magnetische Inductions- (§ 583) und Rotations-Maschinen (§ 584), und als telegraphische Zeichen benutzt man entweder die Ablenkungen von Magnetnadeln, oder die intermittirende Erregung von Magnetismus in Elektromagneten, oder auch die physiologischen Wirkungen.

Um die Vorzüge dieser Telegraphirmethode gegen die der bis jetzt gebräuchlichen, bei welcher die Uebertragung der Gedanken auf der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes beruht, zu erkennen, möge zuerst das Eigenthümliche der letzteren kurz angeführt werden. Bei dieser sogenannten optischen Telegraphirung können die an einem Stationspuncte der Telegraphenlinie gegebenen Zeichen, vermöge der geradlinigen Verbreitung des Lichtes, nur an solchen Orten wahrgenommen werden, wohin das Licht jener Zeichen in gerader Linie gelangen kann. Defshalb müssen Telegraphirposten, um ihren Gesichtkreis zu erweitern, auf hochgelegenen Puncten errichtet werden, und dessenungeachtet können dadurch, der gekrümmten Erdoberfläche halber, im Verhältnifs doch nur unbedeutende Entfernungen erreicht werden. Dadurch aber wird zum grofsen Theil der Vortheil der Schnelligkeit der Bewegung des Lichtes paralysirt, denn es werden aus diesem Grunde viele Zwischenstationen nöthig, die das Signalisiren verzögern und einen beträchtlichen Kostenaufwand verursachen. Noch wichtiger aber ist die Unvollkommenheit, dafs man sich dieses Telegraphirmittels, wegen der so oft eintretenden Hindernisse, die das Licht bei seinem Durchgange durch die Luft erfährt, nicht zu jeder Zeit bedienen kann. Endlich ist auch noch im Ganzen genommen die Maschinerie, die zur Hervorbringung der Zeichen angewendet wird, so schwerfällig, dafs eine grofse Schnelligkeit der Signalisirung nicht zu erreichen ist.

Bei der elektrischen Telegraphirung kann das Zeichengeben nach jeder beliebigen Richtung erfolgen; die Wirkung des Stromes, durch welche jene Zeichen hervorgebracht werden, ist unabhängig von Terrainverhältnissen und den Zuständen der Witterung, wodurch ihr Gebrauch zu jeder Zeit gesichert ist; die Stationspuncte können weit gröfsere Entfernungen erhalten, bedürfen keiner besonders dazu construirten grofsartigen Gebäude, und vermöge der noch gröfseren Geschwindigkeit, mit der sich die Elektricität gegen die des Lichtes in guten Leitern fortpflanzt (m. vergl. § 211 u. 482), wäre es möglich, selbst in der gröfsten Entfernung auf unserer Erde, nämlich mit unseren Gegenfüfslern, ohne Zwischenstationen in noch nicht ganz $0,_{05}$ Zeitsecunde zu telegraphiren, sobald der Strom stark genug wäre, um den Leitungswiderstand auf diese Entfernung zu überwinden und seine telegraphischen Zeichen noch hervorzubringen. Allein ein sehr wesentlicher und wichtiger Unterschied beider Telegraphirmethoden besteht darin, dafs man bei der elektrischen als Uebertragungsmittel der Zeichen eines besonderen Trägers des Stromleiters bedarf, während für die optische ihn die Luft abgiebt, und gerade in diesem Träger tritt dieser neuen Fernschreibkunst ein nicht unbedeutendes Hinderniſs entgegen, zu dessen Beseitigung man noch gegenwärtig mit Versuchen beschäftigt ist (S. Poggendorff's Ann. LVIII, S. 409).

Eine ausführlichere Zusammenstellung und Abhandlung über die verschiedenen bis jetzt in Anwendung gebrachten Mittel, um den elektrischen Strom zur Telegraphirung zu benutzen, findet man in Gehler's phys. Wrtb. n. A. IX. S. 107—126, Eydam, Erschein. d. Elektr. u. d. Magnet. S. 293—299 u. eine kurze geschichtl. Uebersicht in dem Handwörterb. d. Chem. u. Phys. I. S. 670, so wie auch in allen drei Schriften eine ziemlich vollständige Nachweisung der darauf bezüglichen Literatur enthalten ist.

ausgeschnittenen Schirm, ohne jenen damit zu berühren, behaucht ihn dann auf eine geeignete Weise und läfst das niedergeschlagene Wasser verdunsten, so wird durch späteres Behauchen die Figur des Ausschnittes deutlich sichtbar.

Quecksilberdämpfe leisten ganz dasselbe wie Wasserdämpfe, nur weit vollkommener. Wird nämlich eine dem Vorigen gemäfs behandelte polirte Silberplatte, die aber nicht behaucht werden darf, jenen Dämpfen ausgesetzt, so entsteht ein schönes im Detail sehr deutliches Bild der früher mit der Platte in Berührung oder Berührungsnähe gewesenen Objecte.

Auch Joddämpfe wurden auf gleiche Weise von Moser geprüft. Sie sind besonders defshalb interessant, weil sie sich mit dem Silber chemisch verbinden, während die Quecksilberdämpfe nur condensirt werden, ohne die Substanz des Silbers chemisch zu verändern. — Wurde eine auf ähnliche Art vorbereitete Silberplatte Joddämpfen ausgesetzt, so zeigte sich in einigen Fällen das Bild der vorher mit ihr in Berührung gewesenen Objecte schon durch eine verschiedene Färbung, ein vollkommen deutliches Bild entstand aber stets, wenn man eine solche Platte, wie es für die Daguerre'schen Bilder nothwendig wird, den Quecksilberdämpfen exponirt, so wie auch das Tages- oder Sonnenlicht schnell das Abbild der Objecte mit aller Feinheit hervorbrachte.

Gestützt auf diese Thatsachen, stellt nun Moser zunächst folgenden wichtigen Satz auf: **Wenn die Oberfläche eines Körpers an einzelnen Stellen von irgend einem Körper berührt worden ist, so hat sie die Eigenschaft erhalten, alle Dämpfe, die überhaupt an ihr adhäriren, oder mit denen sie eine chemische Verbindung eingeht, an diesen Stellen anders, als an den unberührten Stellen zu condensiren. Hierdurch** entsteht aber das Abbild des berührenden Körpers.

Das Wichtigste bei diesen Erscheinungen, wegen der Schlufsfolgen, die Moser darauf begründet hat, besteht jedenfalls darin, dafs die Abbildungen durch Berührung und Condensirung von Dämpfen, bei Ausschlufs alles Lichtes, d. h. völlig im Finstern, eben so wie durch Licht hervorgerufen werden. Daraus folgert er nun, dafs Berührung der Körper, Condensirung der Dämpfe und das Licht in allen Körpern gleiche Veränderungen hervorbringen, und dafs die Veränderungen, die durch Berührung oder durch Condensirung der Dämpfe entstehen, *ebenfalls nur eine Wirkung des Lichtes sind, wenn auch dasselbe für unser Auge nicht wahrnehmbar ist.* Defshalb ist Mo-

Moser fand nämlich bei seinen auf mannigfache Weise abgeänderten photographischen Versuchen, dafs dem Lichte nicht allein die Fähigkeit zukommt, durch Einwirkung auf andere Körper diesen die Eigenschaft zu ertheilen, an den Stellen, wo eine solche Einwirkung stattfand, im Verhältnifs der Gröfse derselben, Dämpfe des Quecksilbers und Jods so zu condensiren, dafs dadurch ein sichtbares Bild des Gegenstandes hervorgerufen wird, von welchem das Licht ausging, sondern dafs ähnliche Einwirkungen auch ohne vorhandenes sichtbares Licht vor sich gehen, dafs dieselben nicht blos bei den nach Daguerre's Methode präparirten Silberplatten, sondern auch auf vielen anderen Substanzen stattfinden, und dafs nicht ausschliefslich die Dämpfe jener beiden Stoffe, des Quecksilbers und Jods, dazu geeignet sind, sondern dafs dasselbe auch andere verdampfbare Körper bewirken, sobald diese nur an den Stellen, welche vorher in der angeführten Weise afficirt worden waren, hängen blieben.

Folgendes sind die vorzüglichsten Versuche, durch welche der genannte Gelehrte die oben angeführten verschiedenen Erscheinungen kennen lernte.

Wird eine Münze auf eine reine, gut polirte Glasplatte gelegt, diese behaucht, und hierauf die Münze entfernt, so sieht man bei späterem Behauchen des Glases den äufseren Contour der Münze sich abbilden.

Wenn man eine reine Glasplatte gleichmäfsig anhaucht, dann mit Fliefspapier, einem Pinsel, oder sonst etwas darauf schreibt, so werden die gemachten Züge bei jedem späteren Anhauchen wieder sichtbar, und erst nach einiger Zeit verschwindet diese Erscheinung.

Aber nicht blos Glas, sondern auch andere polirte Körper zeigen ganz dasselbe, wovon sich Moser an verschiedenen Metallen, Steinen, Harzen, Holz, Pappe, Leder u. s. w. überzeugte, so wie er auch fand, dafs eine polirte Oberfläche nicht absolut nöthig sei, da diese Erscheinungen auch auf mattem Glase eintraten.

Eben so sind auch die Oberflächen von Flüssigkeiten zu solchen Versuchen geeignet. — Hält man nämlich auf eine ganz reine ruhige Quecksilberoberfläche irgend einen Körper und behaucht den übrigen Theil, oder, was noch besser ist, behaucht man das Quecksilber zuerst und nimmt dann den Wasserdampf an einzelnen Stellen auf irgend eine leichte Weise weg, so wird man die deutlichsten Spuren davon bei jedem Behauchen, sobald nur das Quecksilber ruhig blieb, auch noch nach vielen Tagen wahrnehmen.

Selbst unmittelbare Berührung ist nicht nöthig, um dergleichen Erscheinungen zu erhalten, sei es vor dem Behauchen, sei es, um das condensirte Wassergas von einigen Stellen zu entfernen. — Bringt man z. B. über einen polirten Körper irgend einen

Noch eine andere Art dieser Bilderzeugungen hat Professor Karsten bekannt gemacht, welche, während sich zwei Körper berühren, durch elektrische Entladungen auf diese angeregt und dann durch die Dampfcondensation sichtbar gemacht werden können, eine Erscheinung, die auch schon von Professor Riefs beobachtet wurde (s. Repert. d. Phys. VI, S. 180), und welche dieser als elektrische Hauchfiguren bezeichnet, während Karsten für die nach seiner Methode erzeugten Bilder die Benennung elektrische Bilder vorgeschlagen hat. Dieser Physiker tritt der Annahme eines unsichtbaren Lichtes ebenfalls nicht bei, indem er anführt, dafs, da Professor Moser selbst sage, dafs das unsichtbare Licht dem Sonnenlichte nicht zukäme, wohl aber allen Körpern, es eben dann auch kein Licht sein könne, sondern vielmehr die Wirkung einer Kraft, die jedem Körper zukomme. Alle diese Erscheinungen, meint er, deuteten auf Cohäsions- (Molecular-) Veränderungen hin, und weil sich Licht, Wärme und Elektricität ähnlich wirksam zeigten, glaubt er, dafs der Grund hierzu mehr in der Cohäsions- (Molecular-) Wirkung, als im Lichte zu suchen sei. (S. Poggendorff's Ann. LVII, S. 492 und LVIII, S. 115.)

In der neuesten Zeit hat endlich auch noch Dr. Waidele in Wien die Versuche und Beobachtungen des Professors Moser einer umfänglichen Prüfung unterworfen. Nach einer vergleichenden Zusammenstellung seiner Versuche mit denen von Moser glaubt er die Ansicht aussprechen zu können, dafs sich alle Wirkungen des unsichtbaren Lichtes aus dem verschiedenartigen Verhalten der Körper zur Absorption der Gase erklären lassen.

Er fand nämlich, dafs, wenn man einen Körper einer polirten Platte nähert, die dadurch hervorgebrachte Veränderung von den verschiedenartigen Zuständen abhängt, in welchen sich sowohl der Körper als die Platte in Beziehung auf absorbirte Gase befinden. Nur dann, wenn hierin eine Verschiedenheit stattfindet, tritt eine Wechselwirkung ein. Es wird nämlich der Platte entweder eine Hülle von absorbirten Gasen mitgetheilt, oder der der Platte schon anhängenden Gashülle ein Theil durch den berührenden Körper entzogen, oder es findet an den Berührungsstellen blos ein Austausch der verschiedenen absorbirten Gasarten statt.

Eine gleiche Wirkung bringt aber auch eine der Platte genäherte Flüssigkeit oder selbst ein gasförmiger Körper, welcher die Platte an einzelnen Stellen trifft, hervor, indem auch dadurch eine Veränderung in der Gashülle der Platte entsteht.

Solche Veränderungen aber werden erst sichtbar, wenn Dämpfe sich auf der Platte condensiren, indem die Färbung der condensirten Dämpfe sich nach dem Zustande der Gashülle der Platte verändert. (S. Poggendorff's Ann. LIX, S. 255).

Diese hier gegebene kurze Zusammenstellung der verschiedenen Ansichten mehrer Physiker beweist also, dafs die vom Professor Moser aufgestellte, für die Lehre vom Lichte und die ganze Physik so wichtige Theorie über das unsichtbare und gebundene Licht noch nicht allgemein von den Physikern sanctionirt wird. Die Wichtigkeit dieser Hypothese, indem durch sie neue Analogieen zwischen Licht und Wärme begründet werden, läfst aber erwarten, dafs noch weitere Untersuchungen darüber angestellt werden, und dafs namentlich der scharfsinnige Königsberger Physiker es nicht unversucht lassen wird, für seine Ansichten neue und evidente Beweisgründe aufzufinden.

Zu § 407, S. 600.

Nach den neuesten Untersuchungen von de la Provostaye und P. Desains hat sich die gebundene Wärme des Wassers zu 79,1° C ergeben (s. Poggendorff's Ann. LIX, S. 163).

Zu § 451, S. 707.

In dem Reiseberichte über die Südpolexpedition des Capitain James Rofs, aus der Literary Gazette, heifst es: Den 22. Februar 1843 segelte man unter 61° südlicher Breite und 24° westlicher Länge über die Linie der Nichtabweichung der Magnetnadel, also über den magnetischen Südpol der Erde, wonach dieser Pol gegen die von Gaufs theoretisch bestimmte Position um 11° 35′ dem Aequator näher und um 3° 30′ dem Meridiane von Greenwich ferner liegt.

Zu § 510, S. 857.

Vor Kurzem ist von Grove noch eine neue Combination von einer Volta'schen Kette erfunden und bekannt gemacht worden. Sie gehört in die Classe, wo ein homogener Elektromotor mit zwei heterogenen Flüssigkeiten im Contract steht. Bei dieser neuen Kette sind aber die beiden Flüssigkeiten Gase, und zwar Sauerstoff- und Wasserstoffgas, welche unter sich durch gesäuertes Wasser in leitender Verbindung stehen, und [illegible] Elektromotor wird in jedes Gas ein Platinstreif gebracht
Wasserstoff eingetauchte Platin ist durc
in einen positiveren Spannungszustand
stoff befindliche, und es verhält sich

eben so, als wenn es in concentrirter Salpetersäure, letzteres, als wenn es in Aetzkali stände. Nach der bei dieser neuen Kette stattfindenden Combination würde man sie Hydrooxygengas-Platinkette nennen können (s. Poggendorff's Ann. LVIII, S. 202.)

Zu § 516, S. 886.

Bei den von Lenz in der neuesten Zeit angestellten Untersuchungen zur Ermittelung der Gesetze der Wärmeerregung durch hydroelektrische Ströme gelangte dieser Physiker zu Resultaten, die ihn veranlafst haben, in Uebereinstimmung mit Ohm und Vorsselman de Heer den von Fechner und Poggendorff als existirend angenommenen Widerstand des Ueberganges ganz zu ignoriren und alle dahin gehörige Erscheinungen blos der Polarisation der Metalle (S. 852) zuzuschreiben, für welche folgende Gesetze gelten sollen:

1) Die Polarisation der Elektroden (Metalle) erfolgt augenblicklich in ihrer ganzen Stärke beim Beginnen des Stromes.

2) Sie ist unabhängig von der Stärke des Stromes und auch unabhängig von der Gröfse der Elektroden (der erregten Flächen?), wenn diese eine gewisse für stärkere Ströme bedeutendere Gröfse überschreite.

3) Dagegen aber hänge sie von der Natur der Elektroden (Metalle) und der mit ihnen in Berührung befindlichen Flüssigkeit, nicht aber von der Concentration derselben ab.

Danach würde, wenn man die Polarisation der Elektromotoren oder Metalle als eine Verminderung der elektromotorischen Kraft anzunehmen hätte und diese mit p bezeichnete, die Ohm'sche Fundamentalformel für die Stromstärke (§ 516, S. 891) $K = \frac{A}{W+w}$ in folgende übergehen $K = \frac{A-p}{W+w}$ (s. Poggendorff's Ann. LIX, S. 207 und 407).

Zu § 530, S. 967.

Faraday hat kürzlich der bei hochgespannten Wasserdämpfen eintretenden Elektricitätsentwickelung ebenfalls seine Aufmerksamkeit zugewendet und bestätigt im Allgemeinen die Erfahrungen und Ansichten Armstrong's, will aber auch zugleich gefunden haben, dafs die Art der frei werdenden Elektricität von der Natur der verdampfenden Flüssigkeit abhängig ist. Der Dampf von reinem Wasser und eben so von compri-

feuchter Luft wird stets positiv elektrisch, während der örper, von welchem die Verdampfung ausgeht, negative tität annimmt. Ein Zusatz von Terpentin- oder Baumöl asser soll die Entwickelung der entgegengesetzten Elek- von jener, welche reines Wasser giebt, erregen, und bei vollkommen trockenen Luftstrome soll keine Art der Elek- wahrgenommen werden (Literary Gazette April 1843 und er's pol. Journ. LXXXVII, S. 226.

Zu § 535, S. 979.

neueste und vollständigste thermoelektrische Spannungs- t die von Marchand. Wir geben sie hier, wie sie in nn Marchand's Journal für prakt. Chem. XXIX, S. den Spannungsreihen einiger anderen Physiker zusammen- ist.

rchand.	Yelin.	Becquerel.	Cumming.
nz,			Bleiglanz,
tein,			
th,	Wismuth,	Wismuth,	Wismuth,
ver,			Quecksilber,
			Nickel,
alladium,	Silber,		Platin,
Palladium,			Palladium,
ilber,			
Platin,	Platin,	Platin,	Kobalt,
			Silber, kupferh.,
			Mangan,
		Blei,	Zinn,
		Zinn,	Blei,
g,			Messing,
	Kupfer,		Rhodium,
	Gold,	Gold,	Gold,
12lötb.,	Zinn,	Silber,	
fein,	Blei,		
metall,			
	Zink,		
		Kupfer,	Kupfer,
latin,		Zink,	Osmiumirid,
			Silber,
			Zink,
			Kohle,
ien,			

Marchand.	Yelin.	Becquerel.	Cumming.
Graphit,			Graphit,
Rosesches Metall,			
Eisen,	Eisen,	Eisen,	Eisen,
Arsenik,			
Antimon.	Antimon.	Antimon.	Antimon.

Nachwort.

Bald nach dem Erscheinen der ersten Abtheilung dieses Lehrbuches, auf deren Umschlag von Seiten der Verlagshandlung als Bitte ausgesprochen worden war, die Beurtheilung darüber bis zum Erscheinen des Ganzen zurückzuhalten, wurde dennoch in einigen öffentlichen Blättern gerügt, dafs in dem Abschnitte über die Wellenlehre einige Sätze dem Lehrbuche der Physik des Professors Eisenlohr entlehnt worden wären. Da die Quellen, welche bei der Bearbeitung des ganzen Lehrbuches benutzt wurden, in der Vorrede zu demselben sämmtlich angeführt werden sollten, wie es auch geschehen ist, so war diefs allerdings hier nicht bei den einzelnen Paragraphen erfolgt, und insofern konnte es scheinen, als wolle der Verfasser das Verdienst, welches sich der Herr Professor Eisenlohr um diesen Theil der Physik erworben hat, ignoriren. Unmöglich aber ist zu glauben, dafs ein Physiker, wie Herr Professor Eisenlohr, der durch sein vorzügliches Lehrbuch so viel zur Ausbreitung dieser Wissenschaft beigetragen hat, ein Unrecht darin finden sollte, wenn die von ihm besonders lichtvoll und deutlich dargestellten Sätze mit seinen Worten in einem anderen Lehrbuche wiedergegeben werden, sobald nämlich die Quellen nicht unangegeben bleiben, welche bei der Bearbeitung desselben benutzt wurden. Jene Rügen haben aber doch den Verfasser veranlafst, den erwähnten Abschnitt gänzlich umzuarbeiten und die denselben enthaltenden Bogen (20 und 21) umdrucken zu lassen. Letztere sind daher für diejenigen, welche die erste Abtheilung dieses Werkes bereits besitzen, als Cartons der zweiten Abtheilung beigegeben, bei vollständigen Exemplaren dieses Lehrbuchs aber an die Stelle der früheren Bogen eingeheftet worden.

Sachregister.

Die angegebenen Zahlen bedeuten die Seiten des Buches.

A.

Aberration = Abirrung des Lichtes 391.
Abplattung der Erde 59, 131, 673.
Absorption der Gase 70, des Lichtes 413, 460, der Wärme 565.
Abstoſsung in Haarröhrchen 65, durch Wärme 533, magnetische 688, elektrische 764, 776, elektrodynamische 1025, zwischen Magneten und elektrischen Strömen 1017, 1037.
Abweichung des Lichtes bei sphärischen Spiegeln 402, bei Linsengläsern 432, chromatische 457, magnetische = Declination 698.
Abweichungskreis 457.
Abweichungsnadel = Declinationsnadel 698.
Accord 335.
Achromasie 458.
Achromatisches Prisma 458, Linse 460.
Adhäsion 16, 61, zwischen starren Körpern 61, zwischen starren und flüssigen 62, zwischen flüssigen Körpern 69.
Aeolipile 642.
Aequator, magnetischer 704.
Aequivalent = Mischungs-Gewicht 79.
Aeronautik = Luftschiffkunst 295.
Aerostaten = Luftballons 295.
Aether 368.
Affinität = chemische Anziehung oder Verwandtschaft 21, 71.
Aggregatformen 19.
Alkalien 87, 91, alkalische Erden 91.
Alkaloide 87.
Alkarazas 616.
Amalgame 83, für das Reibzeug der Elektrisirmaschinen 779.
Amalgamiren des Zinks zu hydroelektrischen Ketten 859.
Amorph 105.
Ampère's elektrodynamisches Gesetz 1024, elektrodynamischer Apparat 1026, Solenoid 1036, Theorie des Magnetismus 1038, Rotationsapparate 1043, 1045.
Anamorphosen, katoptrische 413, dioptrische 429.
Anelektrisch 756.
Anemometer 299.
Anfangsgeschwindigkeit 25.
Angriffspuncte 27, 146.
Anion 920.
Anker bei Magneten 728, 748.
Ankerstrich beim Magnetisiren 734.
Anode 920.
Anziehung, allgemeine = Gravitation 21, 34, der Erde 21, 35, in Harröhrchen 65, chemische 21, 71, magnetische 688, elektrische 764, 776, elektrodynamische 1025, zwischen

Magneten und elektr. Strömen 1017, 1037.
Anziehungskraft 16, allgemeine der Gravitation und der Erde 21, 34, 35.
Anzünden 96.
Apertur an Linsengläsern 432.
Aplanatische Linse 511.
Aräometer = Gravimeter, Senkwagen 224, Nicholson's Gewichtaräometer 225, Scalenaräometer 226.
Armatur natürlicher Magnete 687.
Artesische Brunnen 198.
Astatische Magnetnadel 711.
Atherman 568.
Athmungsprocefs in verdünnter Luft 248.
Atmosphäre 237, als permanentes Gas 231, als Hülle unserer Erde 235, ihre Höhe 291, ihre Zusammendrückbarkeit 235, ihre Ausdehnbarkeit 232, 239, ihr Gleichgewicht 232, Widerstand derselben 178, 247, Druck derselben 253, 256, 265, Gewicht derselben 249, Bewegung derselben 298, 301, als Schallleiter 247, 352, magnetische 692, elektrische 767.
Atmosphärische Dampfmaschine 647, 649.
Atomgewicht 79.
Atomgewicht und specifische Wärme 589.
Atomistische Hypothese 18.
Auflösmittel 97.
Auflösung, mechanische, chemische 97, auf nassem und trockenem Wege 98.
Auge 480, künstliches 497.
Augenmafs 502.
Ausdehnbarkeit 10.
Ausdehnung 9, der Luft 232, durch Wärme 533, starrer Körper 548, flüssiger Körper 554, der Gase 556, der Dämpfe 624.
Ausflufsmenge des Wassers 204, durch Ansatzröhren 206, bei Wasserleitungen 206.
Auslader elektrischer, gewöhnlicher u. allgemeiner 812.
Auslöschen 96.
Axe bei rotirender Bewegung 26, freie Axe 60, der Erde 131, der Krystalle 105, der sphärischen Spiegel 401, der Linsengläser 430, optische oder der doppelten Strahlenbrechung 441, der Magnete 687, magnetische der Erde 723.

B.

Barometer = Baroskop 270, Gefäfsbarometer 271, gewöhnlicher Barometer 271, Heberbarometer 271, Barometer von Morland, Hook und Huygens 272, Reisebarometer 272, Dampfbarometer = Manometer 275, 627, 651.
Barometerprobe = Luftverdünnungsmesser 243, 273.
Barometerstand, mittlerer 270, Mafsstab 271, Correction 272, Veränderungen, regelmäfsige und unregelmäfsige 276, am Meere 280.
Barometrische Höhenmessung 278.
Bad, elektrisches 839.
Basen 84, 86, 87, Untereintheilung 88.
Batterie, elektrische 807, Volta'sche 863, constante 935, magnetische 686.
Beharrungsvermögen = Trägheit 31.
Beobachtung 6.
Berührungs-Elektricität = Contact-Elektricität, Galvanismus, Voltaismus 843, bei Berührung heterogener fester Körper, Volta's Fundamentalversuch 843, Galvani's Fundamentalversuch 945, 913, elektromotorische Kraft und Spannungsreihe 845, bei Berührung von festen und flüssigen Körpern 848, bei Berührung von Flüssigkeiten unter einander 850, bei Berührung von festen Körpern und Gasen 1107, Polarisation der Metalle 851, Ketten, einfache s. Ketten, zusammengesetzte s. Säulen, Unterschied zwischen Reibungs- und Berührungs-Elektricität 878, Abhängigkeit der

Stromstärke 881, Gröfse der elektromotorischen Kraft 881, Verzögerungskraft 882, Verschiedenheit des Leitvermögens 882, Gröfse des Leitungswiderstandes 886, Uebergangswiderstand 887, 1108, reducirte Länge 888, Gesammtwiderstand in einer geschlossenen Kette 889, Ohm's Gesetz 890, Wirkungen hydroelektrischer Ströme, magnetische 895, Lichterscheinungen 901, Wärmeerregungen 903, Anwendung zur Minenzündung 906, physiologische 911, chemische 917, Gesetzlichkeit 919, Elektrochemie u. elektrochemische Classification der Körper 923, Faraday's Gesetze der Elektrolysirung 930, Einfluss der Elektrolyte in den Ketten 933, Maßbestimmungen der Stromstärke 945, verschiedene Ansichten über die Entstehung dieser Elektricität 954.

Beschleunigung beim Fallen 39.

Bestandtheile, chemische 72.

Beugung der Wellen 321, 326, des Schalles 353, des Lichtes 472.

Bewegung 22, gerad- und krummlinige 24, 29, gleichförmige 24, ungleichförmige 25, gleichförmig beschleunigte u. verzögerte 25, fortschreitende, schwingende, rotirende 26, einfache u. zusammengesetzte 26, Zusammensetzung 28, Zerlegung 29, 30, Mittheilung 31, des Falles 38, auf der schiefen Ebene 43, des Wurfes 48, Centralbewegung 53, Hindernisse 169, der tropfbaren Flüssigkeiten 201, der Luft 298, der Wellen 305, elektrochemische 944.

Bild, optisches oder geometrisches 396, 407, 435, physisches oder Luftbild 406, 434, auf der Netzhaut des Auges 491, Lichtbild, Daguerreotypo 527.

Binaritätsgesetz 76, binäre Verbindungen 76.

Blasinstrumente 346.

Blendung an Linsengläsern 432.

Blitz 998.

Blitzableiter = Wetterableiter 1005.

Blitzrad von Neef 916.

Blitzröhren = Fulguriten, Blitzsinter 1003.

Bodenwärme der Erdoberfläche 673.

Bohrbrunnen 198.

Brechung des Lichtes 413, Erklärung derselben 419, Verhältnisse derselben 416, in der Luft, astronomische 423, terrestrische 424, von parallelen Oberflächen 426, durch's Prisma 427, durch polyedrische Gläser 428, durch convexe Linsen 431, durch concave Linsen 436, des polarisirten Lichtes 479, doppelte oder ungewöhnliche 441, 443, farbigen Lichtes 448, der Wärmestrahlen 570

Brechungsverhältnifs = Brechungsexponent 415.

Brechungsvermögen 415, 417.

Brenner = verbrennliche Körper 95.

Brennlinie 402, 432.

Brennpunct bei Reflexion von Wellen 318, bei Hohlspiegeln 402, bei Convexspiegeln 411, bei Convexlinsen 431, bei Concavlinsen 436.

Brennweite 402, 432.

Brillen 497.

Bussole 699.

C.

Calorimeter 584, Rumford's 585.

Calorimotor von Hare und Strating 866.

Camera obscura 506, clara 507.

Capacität der Wärme 580.

Capillarität 65.

Carbonide = Kohlenstoffpaare 83.

Cartesianische Taucher 238.

Centralb

Centrifugalkraft 54, Centrifugalmaschine 32, 57.
Centripetalkraft 53.
Chemie 4.
Chemische Anziehung 21, 71.
Chemische Proportionslehre = Stöchiometrie 79.
Chemische Theorie der Elektricität 955.
Chemische Verbindungen = Mischungen 72.
Chemische Zeichen und Formeln 84.
Chloride = Chlorpaare 83.
Chromatische Abweichung 457.
Coërcitivkraft 696, 725.
Cohäsion 19.
Collector, elektrischer 820.
Collectivlinse 512.
Communicationsrohr 362.
Communicirende Gefäfse 195.
Commutator 1018.
Compafs 699.
Compensation 551.
Compensationspendel von Harrison 551, von Graham 552.
Complementäre Farben 456, im polarisirten Lichte 485, bei farbigen Schatten 505, bei subjectiven Farben 503, durch Spiegelung 505.
Compression der Luft 235.
Compressionspumpen 236.
Concavlinsen 429, 436.
Concavspiegel 400
Condensator der Dampfmaschine 646, 653, elektrischer 819, doppelter Peclet's 821.
Condensirung der Dämpfe oder Dünste 620.
Conductor 793.
Consonirend 334.
Contact-Theorie der Elektricität 954.
Convexlinsen 429, 431.
Convexspiegel 400, 411.

D.

Daguerreotype 527.
Dampf = Dunst 621, gesättigter 622, Dichtheit 622, Expansivkraft = Spannkraft, Tension, Elasticität 623, Druck 626, Messung desselben 627, Verhalten des Dampfes gegen Druck 630, gegen Wärme 631, Verbreitung in leeren und mit Gasen erfüllten Räumen 632, Dichtigkeitszustand des Wasserdampfes in der Atmosphäre 635.
Dampfheizung 664.
Dampfkanonen 656.
Dampfkessel 645, 650.
Dampfkochapparate 666.
Dampfmaschine 644, Haupttheile 645, mit einfacher Wirkung 647, atmosphärische 647, 649, mit doppelter Wirkung 647, mit Expansion 647, mit niederem Druck = Tiefdruckmaschine, und hohem Druck = Hochdruckmaschine 648, mit u. ohne Condensation 648, Watt'sche einfach und doppelt wirkende 650, Beschreibung einer doppelt wirkenden Watt'schen mit Condensation 653, Perkins'sche 655, Anwendbarkeit der verschiedenen Arten der Dampfmaschinen 656, Mafs für ihre Wirkungen 679, Consumo des Brennmaterials 662.
Dasymeter 293.
Declination s. Abweichung, magnetische.
Declinationsnadel 698.
Declinatorium 698.
Deflagrator, s. Calorimotor.
Depolarisation, elektrische, 935.
Destillation, Destillat 100, 620.
Detonirende Körper 96.
Diakaustik 432.
Diatherman 568.
Dichtheit 11, 36, fester Körper, tropfbarer und Gase Tab. XII, des Wassers 555, Tab. XI, der Dämpfe 522, Tab. XIX.
Differentialthermometer 544, magnetischer 985.
Diffraction s. Beugung.
Diffusion der Gase 300.
Digestor = Papinischer Topf 611, 684, 666.
Dioptrik 413.
Dissonirend 334.

Doppelbarometer 272.
Doppelpaar 76.
Doppelbrechung 441, 443.
Doppelt brechende Körper 445.
Doppeltsehen 492.
Doppelspath 441.
Doppelstrich 731.
Drache, elektrischer 996.
Drehwage Coulomb's 118, elektrische 773, magnetische 743.
Druckwerke 257, 259.
Dualistische Hypothese der Elektricität 761.
Dünste = Dämpfe 621.
Durchsichtigkeit 375.
Dynamometer, mechanischer 120, optischer 523.
Dynamische Hypothese 18.

E.

Ebene, schiefe, Fall der Körper darauf 43, als mechanische Potenz 160.
Echo = Wiederhall 361.
Eigenschaften der Körper, Haupteigenschaften 9, Nebeneigenschaften 10.
Eigenschwere = specifisches Gewicht 36, hydrostatische Bestimmung 220, Tabelle der specifischen Gewichte Tab. XII.
Eindringen der Körper durch Stofs 137.
Einfallswinkel beim Stofs elastischer Körper 143, bei der Wellenbewegung 316, beim Schall 360, beim Lichte 395.
Eispunct s. Gefrierpunct.
Elasticität 14, Grenze 14, 117.
Elektricität = Elektrismus 752, verschiedene Erregmittel 753, durch Reibung s. Reibungselektricität, durch Berührung s. Berührungselektricität, durch Wärme s. Thermoelektricität, durch elektrische Ströme s. Elektrodynamik, durch Magnetismus s. Magneto-Elektricität, durch den atmosphärischen Proceſs s. Luftelektricität, durch den Lebensproceſs 1010, durch chemische Action 962, durch mechanische Trennung 969, durch Druck 970, durch Licht 990, Wirkungen im Allgemeinen 753, Dichtheit oder Intensität und Menge oder Quantität 754, Mittheilung 755, Leiter, Nichtleiter, Halbleiter 755, verschiedene Anwendung derselben 779, Leitvermögen d. Körper für Elektricität 758, 882, Leitungswiderstand = Verzögerungskraft 759, 886, Theorieen über die Elektricität, Unitarier und Dualisten 760, positive und negative Elektricität 761, Spannung der Elektricität 763, Attractions- und Polaritätsgesetz 764, Strom der Elektricität 765, Geschwindigkeit der Elektricität 766, 814, Dauer des elektrischen Lichtes 814, Elektricität durch Vertheilung 767, als Telegraphirmittel 1099.
Elektrisirmaschine 792, Wirksamkeit 797, Regeln beim Gebrauch 801, Armstrong's Dampf-Elektrisirmaschine 968, galvanomagnetische Inductionsmaschine 1076, magneto-elektrische 1078.
Elektrochemie 923.
Elektroden 920.
Elektrodynamik 1016, Wirkungen der Ströme auf einander 1024, Gesetz Ampère's 1025, paralleler Ströme 1025, nicht paralleler Ströme 1028, hinter einander flieſsender Ströme 1029, unwirksame Stromleiter 1030, Rotation elektrischer Ströme 1031, elektro-dynamischer Cylinder = Solenoid 1035, Wirkungen der Magnete auf elektrische Ströme 1037, eines Solenoids 1038, Ampère's Theorie des Magnetismus 1039, Rotationen durch Magnete und elektrische Ströme 1041, Gesetz der Wirksamkeit elektr. und magnetischer Ströme 1020, 1037, Wirkung des Erdmagnetismus auf elektrische Ströme 1048, elektrisches Inclinatorium 1050, elektrisches Declinatorium 1051, Wirkung des Erdstroms auf Magnetnadeln 1052, Rotationsbewegungen durch den Erdmagnetismus 1054, Inductionswirkung elektr. Ströme

1065, inducirende oder primäre und inducirte oder secundäre Ströme 1065, Dauer und Richtung der secundären Ströme 1066, verschiedene Wirkungen der inducirten Ströme 1069, der Extrastrom = Gegenstrom, Rückstrom 1070, inducirte Ströme durch Reibungselektricität 1071.
Elektrodynamischer Cylinder oder Schraube = Solenoid 1035.
Elektrolysirung 917, Faraday's Gesetze derselben 930, Theorie derselben 919.
Elektrolyt 917.
Elektromagnete 1057, Ritchie's rotirender 1061.
Elektromagnetismus 1016, Oerstedt's Entdeckungen 1017, Abhängigkeit der Ablenkungsgröfse der Magnetnadel 1022, Multiplicatoren oder Galvanometers. Galvanometer, magnetisirende Wirkungen des Stromes 1054, Elektromagnete 1057, Gesetze über ihr Tragvermögen 1058, ihre beträchtliche Tragkraft 1060, Ritchie's rotirender Elektromagnet 1061, elektromagnetische Bewegungsmaschinen 1063, zur Telegraphirung 1099.
Elektrometer 770, Cavallo's, Volta's, Bennet's 771, Henley's. Brande's, Coulomb's Drehwage 772, Oerstedt's 773, Bohnenberger's und Becquerel's 774.
Elektromotor 846.
Elektromotorische Kraft 846.
Elektrophor 822.
Elektroskop 770, der elektrische Pendel und die elektrische Nadel 771.
Elektrotonisch 1067.
Elementarwelt 195.
Elemente 74, Tab. VII.
Elmsfeuer 1008.
Emanationstheorie 372.
Emissionsvermögen 562.
Endgeschwindigkeit 25.
Endosmose 68.
Entzündung = Anzünden 96, durch Elektricität, von Knallgas, Knallsilber, Schwefeläther, Colophon, Schiefspulver 836, 837, 906.
Erde, ihre Applattung 59, 131, 672, alkalische 91.
Erdfälle 201.
Erdfernrohr = terrestrisches Fernrohr 517.
Erdmagnetismus = tellurischer Magnetismus 697, Abweichung 698, agonische und isogonische Linien 700, magnetische Convergenzpuncte 701, Neigung oder Inclination 702, magnetischer Aequator 704, isoklinische Linien 705, magnetische Pole der Erde 706, richtende Kraft 709, Intensität und isodynamische Linien 712, Intensitätsmessung 713, Veränderungen 717, periodische 718, unregelmäfsige 721, Theorieen 722, der Erdmagnetismus als eine Folge thermoelektrischer Ströme in der Erde 990, Wirkungen auf elektrische Ströme 1048, auf Magnetnadeln 1052, Inductionswirkung 1085.
Erdtrombe = Landtrombe 1004.
Erdwärme 672.
Ergänzungsfarben = complementäre Farben 456.
Erstarrung 605.
Eustachische Röhre = Ohrtrompete 365.
Expansions-Dampfmaschine 647.
Expansivkraft der Wasserdämpfe 623, Tab. XVIII, XIX, XX, XXI, XXII.
Extrastrom, elektrischer 1070.

F.

Fall, freier 38, auf der schiefen Ebene 43.
Fallhöhe 38.
Fallmaschine Atwood's 40.
Farben, prismatische 447, verschiedene Brechbarkeit 448, primäre und secundäre 454, complementäre 456, Körperfarben 460, Farbestoffe 462, Theorie 464, durch Interferenz 468, durch Reflexion 470, durch Beugung 472, durch Polari-

sation 484, catopische 488, subjective 503.
Farbenbild = Farbenspectrum 447.
Farbenkreisel von Busolt 463.
Farbenringe, Newton's 470, Nobili's 941.
Farbenspindeln 463.
Farbenzerstreuung = Dispersion 447.
Fata-Morgana 425.
Federwage 120.
Feldstecher 519.
Fernrohr 514, dioptrisches und katoptrisches 514, Vergrösserung, Gesichtsfeld und Helligkeit 514, 515, 523, astronomisches oder Keppler'sches 515, Vergrösserung 516, terrestrisches von Rheita 517, holländisches oder Galilei'sches 518, achromatisches 519, dinlytisches 520, katoptrisches s. Spiegeltelescop.
Fernsichtig = weitsichtig 496.
Festigkeit 108, absolute 109, Tab. VIII, relative 111, Tab. IX, rückwirkende 115, Tab. X.
Figuren, Lichtenberg's 828, Nobili's 941, Moser's 1103.
Fingerhutapparat 905.
Fische, elektrische 1010.
Flageoletttöne 339.
Flamme 96.
Flaschenzüge 153.
Fliehkraft = Centrifugalkraft 54.
Flüssigkeit, tropfbare 20, 184, verschiedene Grade 186, elastische = Gase 20, 230.
Focus = Brennpunct 402, 411, 431, 436.
Folgepuncte 687.
Formeln, chemische 81.
Fraunhofer's Lichtspectrum 450.
Frostmischung 603.
Fulguriten s. Blitzröhren.
Funke, elektrischer 800, magnetoelektrischer 1079, 1084.
Funkenmesser, Lane's 809.

G.

Galvanismus s. Berührungs-Elektricität.
Galvanische Vergoldung etc. 939.
Galvanographik 939.
Galvanometer 896, Bussole Jacobi's 898, Schweigger's 898, Nobili's 899.
Galvanoplastik 935.
Gase 19, permanente, coercible, Dämpfe 231, Apparat zum Auffangen = pneumatischer Apparat 262, Bestimmung ihrer Dichte 252, Tab. XII, Verdichtung 233, Absorption 70, Bewegung 234, Wärmecapacität 585.
Gasometer 263.
Gebläse 301.
Gefässbarometer 271.
Gefrieren 605, des Wassers durch Verdunstung 617, des Quecksilbers 618.
Gefrierpunct = Eispunct 536, verschiedener Flüssigkeiten 606.
Gegenstrom = Extrastrom 1070.
Gegenwirkung 33.
Gehörorgan 364.
Gemenge u. Gemengtheile 72.
Geothermometer 673.
Geschwindigkeit 22, 24, Tab. VI, Anfangs- und Endgeschwindigkeit 25, beim freien Falle 38, beim Falle auf der schiefen Ebene 44, tropfbarer Flüssigkeiten 201, der Gase 302, des Schalles 353, des Lichtes 390, der Wärmestrahlen 561, der Elektricität 766, 814.
Gesichtsfeld der Fernröhre 523.
Gestalt 9, symmetrische 102, Kern und abgeleitete 103.
Gewicht, absolutes 36, 37, Tab. II, III, V, specifisches 36, Tab. XII, XIII, Bestimmung des specifischen Gewichts s. specif. Gewicht, Bestimmung des absoluten Gewichtes und des Cubikinhaltes eines Körpers aus dem specifischen Gewicht 228, Mischungs- oder Atomgewicht 79.
Gewichtsverlust im Wass 221, in der Luft 293.

Gewitter 998.
Glanz leuchtender Körper 386.
Gleichgewicht starrer Körper 144, an den einfachen Maschinen 146—166, an Maschinen überhaupt 168, tropfbarer Flüssigkeiten 194, der Gase 232.
Glühen 96.
Goldblatt-Elektrometer Bennet's 771.
Gramm Tab. II.
Gravitationsgesetze 34.
Grundgestalt 105.
Grundkräfte 16.
Grundstoff = Element 74.
Grundton 335.

H.

Haarröhrchenanziehung = Capillarität 65.
Härten des Stahls für Magnete 728.
Hagel 1004.
Hahn an Luftpumpen s. Wechselhahn.
Halbleiter 755, 758.
Harmonie 335.
Harmonika, chemische 348.
Hauptaxe 105, 442, 513.
Hauptstrahl 401, 430.
Hebel, mathematischer und physischer 146, zwei- und einarmiger 146, Winkelhebel 147, Kniehebel 150, Gleichgewichtsgesetz 147, Anwendung 149.
Heber 259, anatomischer 200, Bergheber 261, unterbrochener 261, Stechheber 262.
Hebkraft s. Schwimmen.
Heliographie 527.
Helligkeit 383.
Heron's Vexirbecher 261, Ball, Brunnen 237.
Hochdruckmaschine 648.
Höhenmessung, barometrische 277, thermometrische 611.
Hörrohr 363.
Hohlspiegel = Concavspiegel 400, 401.
Horizontal 37.
Hornhaspel 156.
Hydrate 89.
Hydrometeore 620.
Hydrostatik 194.
Hydrostatisches Paradoxon 188.
Hygrometer u. Hygroskope = Feuchtigkeitsmesser 634, Volumenhygrometer 635, Gewichtshygrometer 637, Condensationshygrometer 637, 639.
Hygroskopische Körper 635, besondere Anwendung 640.
Hypothese 7.

I.

Idioelektrisch 756.
Imponderabilien 368.
Inclination, magnetische 704, Veränderlichkeit 704.
Inclinationsnadel 702.
Inclinatorium 702, 704, elektrisches 1050.
Indifferenz, elektrische, s. Neutralität.
Indifferenzpunct, elektrischer 870, 785, magnetischer 690.
Inductionswirkung elektrischer Ströme s. Elektrodynamik.
Infusorien 13.
Insolation 374.
Interferenz der Flüssigkeitswellen 320, der Luftwellen 325, des Schalles 353, des Lichtes 467, der Wärme 572.
Intervall = Tonverhältniss 335,
Ione 917.
Isländischer Kalkspath 441.
Isoklinische Linien } s. Erd-
Isodynamische - } magne-
Isogonische - } tismus.
Isolatoren, isolirt 756.
Isolirschemel 800.
Isothermische Linien 675.

K.

Kälte durch Frostmischungen 602, gröfste künstliche 603, natürliche 604, durch Verdunstung 615, durch elektrische Ströme 989
Kaleidophon 311.
Kaleidoskop 398.
Kalklicht oder Drummond'sches Licht 387.
Kammer, dunkle, von Porta 380
Katakaustik 401.
Kathion 920.
Kathode 920.

Katoptrik 393.
Keil 163, Anwendungen 165.
Kepler's Gesetze 54.
Korngestalt 103.
Kernschatten 382.
Ketten, hydroelektrische 853, verschiedene Combinationen 857, Becquerel's 857, einfache mit einer erregenden Flüssigkeit, Volta's 858, Wollaston's 858, Oerstedt's, 858, Hare's 859, mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten 859, Daniell's 860, Grove's 860, Bunsen's 861, mit zwei verschiedenen Gasen 1107, inconstante und constante 931, Jacobi's Vergleichung der Wirksamkeit der Ketten 862, zusammengesetzte s. Säulen, Wirkungen ihres Stromes s. Berührungselektricität, offene und geschlossene 876, thermoelektrische s. thermoelektrische Ketten.
Kimmung = Luftspiegelung 425.
Klang 329, Charakter 332, Intensität 332, Qualität 333.
Klangfiguren 343.
Kleistische Flasche 808.
Knall 345.
Knallluftpistole 836.
Kniehebel 150.
Knotenlinie 312, 343.
Knotenpuncte 307, 331.
Kochen s. Sieden.
Körper, Naturkörper 1, unorganische 2, organische 2, Weltkörper 3, einfache 71, zusammengesetzte 72, gemengte 72, starre oder feste 20, Eigenschaften 101, Härte, Weichheit, Sprödigkeit, Geschmeidigkeit, Dehnbarkeit, Zähigkeit 106, 107, tropfbar flüssige, Eigenschaften 184, elastisch flüssige oder Gase, Eigenschaften 230.
Körperstoff = Materie 9.
Kräfte 16, Grundkräfte 16, innere u. äufsere 17, Molecularkräfte 17, Cohäsionskräfte 19, chemische 21, Gravitationskraft 21, Gesetze derselben 34, bewegende 22, Tab. I., momentane u. stetige, gleich- u. ungleichartige 23, Richtung d. Kräfte 27, Mittelkraft oder Resultirende 27, Angriffspuncte 27, Parallelogramm 27, Zusammensetzung 28, Zerlegung 29, Mafs 33.
Kreisstrich 732.
Kreuz im polarisirten Licht 487, thermoelektrisches von Péltier 989.
Kreuzhaspel 156.
Kryophorus 619.
Krystalle 102, Entstehen 102, Structur, Blätterdurchgang, Korngestalt, ergänzende Massentheilchen 103, Krystallsysteme 105, Volumenänderung durch Wärme 549, elektrische 973.
Krystallisation und Krystallisationspunct 93.
Kupferbeschlag der Schiffe, Sicherung durch den elektrischen Strom 943.
Kurbel 156.
Kurzsichtig 496.

L.

Ladung, elektrische 803, 806.
Ladungsflasche 806, von Lane 809.
Ladungssäule 876.
Längenschwingungen 308, 340, 346.
Lampenmikroskop 512.
Laterne, magische = Zauberlaterne 514.
Leere, Guericke'sche und Toricellische 253.
Legirungen 83.
Leidener Flasche 805.
Leidenfrost's Versuch 609, 652.
Leiter der Elektricität 755, 757, der Wärme 574.
Leitungswiderstand = Verzögerungskraft 759.
Leitvermögen, elektrisches 758, fester Körper 882, von Flüssigkeiten 883, Einfluss des Aggregatzustandes 759, 884, Gesetze 886, thermisches, fester Körper 575, flüssiger 575, gasförmiger 577, Anwendungen des verschiedenen thermischen Leitvermögens 577.
Leuchtsteine 374.
Licht 371, Theorieen 371, selbst-

leuchtender Körper 373, Verbreitung 377, Theorie 378, Stärke 383, Messung derselben 384, absolute Intensität, Glanz 386, Geschwindigkeit 390, Zurückwerfung = Reflexion 393, Theorie 395, reflectirte Menge 413, Brechung = Refraction 413, Theorie 419, Strahlenbrechung, astronomische, terrestrische 423, doppelte 441, des farbigen Lichtes 448, Vereinigung zum weifsen Lichte 453, 462, Absorption und Zerlegung 460, Erklärung 464, Interferenz 467, Beugung = Diffraction 472, Polarisation 474, vom Sehen 489, optische Instrumente 506, chemische Wirkungen 524, Lichtbilder, Daguerreotypen 527, Wirkung auf Körperoberflächen 1103, unsichtbares u. gebundenes Licht 1105, Meinungen verschiedener Physiker darüber 1105—1107, magnet. Wirkungen 746, elektrische 991, ohne Wärme 669, Vergleichungen zwischen Licht und Wärme 677.

Lichteindruck, Dauer 499.

Lichtstrahlen 378, farbige 447, chemische 525, fortsetzende 528.

Linsengläser 429, Erscheinungen durch convexe 431, Vergröfserung derselben 510, Erscheinungen durch concave 436.

Loupe 511, aplanatische 511.

Luft, atmosphärische 235, ihre Dichtheit 249, ihr Druck 249, 252, Wirkungen desselben 256,

Luftballon = Aerostat 295.

Luftelektricität 994.

Luftheizung 399.

Luftpumpe 239.

Luftspiegelung 425.

Lufttherm ometer 541.

Luftverdichtung 233, 236.

Luftverdünnung 239.

Luftverdünnungsmesser 243.

M.

Magazin, magnetisches 686, 736.

Magdeburger Kugeln 255.

Magnet 684, natürlicher und künstlicher 641, Attractionswirkung und polare Richtung 683, 697, Pole und Axe 687, anomaler 687, armirter 687, Sättigung 727, Stäbe und Hufeisen 686, Beschaffenheit des Stahles und seiner Härtung 728, Tragvermögen 737, Berechnung desselben 739, Intensitätsbestimmung 740, Erhaltung und Verstärkung des Tragvermögens 747, Schwächung desselben 748, ein Solenoid nach Ampère 1035, Wirkung des elektrischen Stromes auf den Magnet, Oerstedt's Entdeckung 1017, Wirkung des Magnets auf elektrische Ströme 1037, Rotation 1041, erzeugt durch elektrische Ströme 1055, temporärer oder Elektromagnetismus 1057, erregt elektrische Ströme 1072, 1092.

Magneteisenstein 641.

Magnetismus 682, durchdringt fast alle Körper 686, Attractionsgesetz oder Polaritätsgesetz 688, durch Mittheilung 690, durch Vertheilung 692, Theorie 694, der Erde 697, verschiedenartige Erregung 729, durch Streichen 730, durch Vertheilung 744, der Lage 708, durch mechanische Einwirkungen 745, durch Licht 746, Schwächung 784, durch den elektrischen Strom 837, 1054, Vertheilung in Magneten 689, vorübergehender in allen Körpern 749, unter der Einwirkung rotirender Körper 1088, durch Inductionswirkung elektrischer Ströme 1069, 1071, 1072.

Magnetnadeln 641, Abweichungsnadeln 698, Compasse 699, Neigungsnadeln 702, astatische 711.

Magneto-Elektrismus 1016, 1065, Erregung elektrischer Ströme durch Magnete 1072, Gesetze d. magnetischen Strominduction 1075, magnetische Inductionsmaschine 1076, magnetoelektrische Rotationsma-

schine 1078, magnetische Stromінductionen durch Erdmagnetismus 1085, durch Rotationsmagnetismus 1086.
Magnetometer von Gauſs 716.
Manometer 293, 275, 627, 651.
Mariotte's Gesetz 267.
Maschinen, einfache, Gleichgewicht 146—166, zusammengesetzte 168, Bohnenberger's 31, elektrische Inductionsmaschinen 1076, elektrische Rotationsmaschinen 1086.
Masse 11.
Massentheilchen, ergänzende 103.
Maſse der Länge, der Fläche und des Körperraumes 24, Tab. II, III, der Masse oder absolutes Gewicht 36, 37, Tab. II, III, V, der Kräfte 33, Tab. I.
Materie 9.
Meer, Temperatur 601.
Melodie 335.
Meridian, magnetischer 698.
Metalle 75, edle 89, unedle 90, Säure bildende 90, Erden 91, Alkalien 91.
Metalloide 75.
Metallthermometer 545.
Meter Tab. II.
Mikroskope 508, einfache 509, Vergröſserung 509, zusammengesetzte, dioptrische und katoptrische 511, Vergröſserung 512, Sonnen- und Lampenmikroskope 512, Hydroxygengasmikroskop 513.
Mischung 71.
Mischungsgewicht 79, und elektrische Stromkraft 931.
Mittelkraft 27.
Mittheilung der Bewegung 31, 140, der Schwingungen 327, des Lichtes oder Insolation 374, der Wärme 559, 573, des Magnetismus 690, der Elektricität 755.
Molecule 18.
Moment der Kräfte 32, statisches 144.
Monochord 337.
Multiplicator, Schweigger's 898, thermoelektrischer von Fechner 977.

N.

Nachhall 361.
Naſskältemesser = Psychrometer 639.
Natur, Naturkörper, Naturkräfte, Naturkunde oder Wissenschaft, Naturbeschreibung, Naturgeschichte 1, Naturlehre 2, 4, Naturgesetze 6.
Neigung, magnetische 704.
Netzhaut 491.
Neutralisation 369, 765.
Neutralität, elektrische = Indifferenz 725, 760.
Nichtleiter 756, ihre Anwendung 779.
Niederschlag oder Präcipitat 100.
Nordlicht 1008, elektrisches 830.

O.

Oberfläche flüssiger Körper 194.
Objectivglas 511, 515, 519.
Octave 335.
Oculargias 511, 516.
Ohm's Gesetz 890.
Optik 377.
Oscillation 26, 129, 305.
Oxyde 88.
Oxydul 88.
Ozon 843.

P.

Paare, chemische 76, 83, Doppelpaare 76, 92.
Papinischer Topf = Digestor 611, 648, 666.
Parallaktischer Winkel 501.
Parallelogramm der Kräfte 27.
Passivität des Eisens 852.
Pendel, einfaches oder mathematisches, zusammengesetztes oder physisches 127, Länge 129, Schwingung u. Schwingungszeit 129, Gesetze 129, Secundenpendel 131, Anwendungen 132, Compensationspendel 551.
Perkins's Dampfmaschine 655.
Perpetuum mobile, elektrisches 874.

Pfannenstein in Dampfkesseln 653.
Pfeifen 346.
Pferdekraft 660, Tab. III.
Phosphor, Canton's, Baldwin's, Osan's 374.
Phosphorescens 374.
Phosphoride 83.
Photographie 527.
Photometer 384, von Rumford 384, von Ritchie 385.
Physik 4.
Piknometer 224.
Platinschwamm, als Pyrophor 671.
Pneumatische Wanne 262.
Pneumatisches Feuerzeug = Wasserstofffeuerzeug 671.
Polarisation des Lichtes 474, verschiedener Arten 474, vollkommene Polarisation 474, Polarisationsebene 475, Schwingungsebene 476, durch Reflexion 477, durch Refraction 479, Erklärung 480, durch Doppelbrechung 482, Farbenerscheinungen bei krystallischen Körpern 484, eutopische Farbenfiguren 488.
Polarisation, elektrische 825, 1108
Polarisations-Instrument 476.
Polarität an Magneten 687, magnetische der Erde 707, bei der elektrischen Vertheilung 785, bei den elektrischen Säulen 870, bei den elektrischen Krystallen 973.
Pole, magnetische 687, freundschaftliche und feindliche 689, der Erde 707, 1107, der elektr. Säulen 770, des Solenoids 1036.
Polemoskop 397.
Polyedergläser 429.
Porosität 11.
Potenz-Flaschenzug 153.
Presse, Knie- oder Hebelpresse 150, Bramahsche 193, v. Real 200.
Prevost's Princip 566.
Prisma 427, achromatisches 458, von Doppelspath 482, 486, 487.
Psychrometer = Naſskältemesser 639.
Pulshammer 610.
Pulverprobemaschine 121.
Pyrometer 546, magnetisches 986.
Pyrophor = Selbstzünder 671.

Q.

Quadrantenelektrometer 772.
Quellen, natürliche 197, 198, Springquellen 198.
Querschwingungen = Transversalschwingungen 308.

R.

Rad an der Welle 155, Lauf-, Tret-, Stufen-, Wasser-, Windrad 156, Gesetz des Gleichgewichts 156.
Radhaspel 156.
Radical 84.
Räderwerk 157, Stern-, Kamm-, Kron-, konische Räder 157.
Ränder, farbige 456, 519.
Rauch 96.
Raum, schädlicher bei Luftpumpen 241, leerer in der Toricellischen Röhre 253, der Thermometer 536.
Rautengläser 429.
Reagentien 100.
Reduction der Metalle 90, durch Elektricität 925, 935.
Reflectoren 514.
Reflexion der Wellen 315, Gesetze 315, 316, des Schalles 360, des Lichtes 393, 394, totale 417, der Wärmestrahlen 563.
Refraction = Brechung 413.
Refractoren 514.
Regenbogen 450.
Regulator an Dampfmaschinen 654.
Reibung 170, Gröſse und Coefficient 171, Zunahme und Abnahme 171, 175, Nutzen 176.
Reibungs-Elektricität, Fundamentalwirkungen und Versuche 767, Glas- und Harzelektricität 776, Spannungsreihe für Reibungselektricität 778, Anwendung der Leiter und Nichtleiter 779, Isolirung und Elektricitätsverlust 781, Vertheilung der Elektricität zwischen Leitern und Nicht-

leitern 782, Elektrisirung durch Vertheilung 785, gebundene Elektricität 787, Unterschied zwischen Elektricität durch Vertheilung und durch Mittheilung 788, Elektrisirmaschine s. d, der elektrische Funke und Schlagweite 800, elektrische Verstärkungsapparate 803—813, 819—825, elektrische Entladung 813, Geschwindigkeit des elektrischen Stromes 814, 816, Zeitdauer des elektr. Lichtes 814, 818, Versuche der Reibungselektricität, Bewegungen 826, über positive u negative Elektricität 828, Lichterscheinungen 829, Phosphorescenz 831, mechanische Wirkungen 832, Wärmeerregung 834, magnetische Wirkungen 837, physiologische Wirkungen 838, chemische Wirkungen 840, Ursächliches der Reibungselektricität 841.

Reif, Entstehung desselben bei Conailiachi's Versuch 919.

Relative Wärme 581.

Resonanz 351.

Resultirende = Mittelkraft 27.

Rolle 151, feste 151, bewegliche 152.

Rose's Metalllegirung 599.

Rostpendel 551.

Rotation 26, 57, des elektrischen Stromes 1031, durch Erdmagnetismus 1054, eines elektrischen Stromes um einen Magnet und umgekehrt 1042, eines Magnets um seine Axe 1043, von Flüssigkeiten 1033, 1046, elektro-chemische 944.

Rotationsmaschine, Seegner'sche 210, Luft 304, Hero's 643, elektrische 1078.

Rückschlag 1002.

Ruhe 22.

S.

Sättigung bei Auflösungen 98, des Dampfes 622, der Atmosphäre mit Wassergas 633.

Sättigungscapacität der Säuren 93.

Säule, hydroelektrische 863, Volta's 863, Wollaston'sche, Oerstedt'sche, Hare'sche, Faraday-Young'sche 865, Daniell'sche, Grove'sche, Bunsen'sche 866, trockne, Zamboni'sche 872, als Elektroskop 875, zweielementige 875, Ladungs- oder secundäre 876, Spannungszustand 868.

Säure 84, Sauerstoffsäuren 84, Metallsäuren 85, Wasserstoffsäuren 86, Pflanzensäuren und Thiersäuren 85, Untereintheilung 88..

Saite, Schwingungen 338.

Salzbilder = Haloide 93.

Salze 92, Sauerstoffsalz 92, neutrale, saure, basische 92, Haloidsalze 93, Krystallisationswasser 94, zerfliefsliche, verwitterbare, Knallsalze 94, Doppel- und Zwillingssalze 95.

Sammelspiegel 407.

Saugspritze 259.

Saugwerk 257.

Schall 328, Leiter 329, 352, Schallwellen, Schallstrahlen 352, Interferenz 353, Geschwindigkeit in der Luft 353, im Wasser 355, in festen Körpern 355, Intensität 356, Abnahme derselben 357, Hörbarkeit 358, Störung der Verbreitung 359, Zurückwerfung 360, Wahrnehmung 364.

Schallstrahl 352.

Schallwelle, Länge 355.

Schatten, Körperschatten 381, Schattenraum 381, Schlagschatten 382, Kern- u Halbschatten 382, gefärbter 505.

Scheidung, chemische 73.

Schiebventil an Dampfmaschinen 654.

Schlagweite 800, 809.

Schmelzen 596, bindet die Wärme 600, wichtige Eigenschaft des Wassers 601, ohne Wärme 603, erzeugt Kälte 603.

Schmelzpunct 597, Eintheilung der Körper darnach Verschiedenheit 598.

Schnellwage. Feder- bei 150.

Schraube 165, Gesetz des Gleichgewichts 166, Anwendung 167, ohne Ende 167.
Schwere 15, 35.
Schwerpunkt 121, Unterstützungen 123, stabile und labile 126, Veränderlichkeit 127,
Schwimmen 213, 214, Schwimmkraft = Hebkraft 215, Tragkraft 215, Anwendungen davon 215, stabiles und labiles 218.
Schwimmer, de la Rive's elektromagnetische 1026, 1036, 1038, 1042, 1046.
Schwingungen 305, Quer- oder transversale 309, 337, Längen oder longitudinale 309, 340, drehende od. Torsionsschwingungen 309, 342, Intensität 327, Mittheilung 327, d. Luft in Röhren 346, Hörbarkeit 328, 333.
Schwingungsknoten 307, 331.
Schwingungsversuche mit Magnetnadeln, zur Intensitätsmessung des Erdmagnetismus 714, des elektr. Stromes 950.
Schwingungszahl und Saitenlänge 310, der Töne 335.
Schwingungszeit des Pendels 120, der Saiten 310.
Schwungkraft = Centrifugalkraft 54.
Secundenpendel 131.
Sehen 489.
Sehweite 496.
Sehwinkel 500, kleinster 498.
Seilmaschine, Vera's 62.
Seifenblasen als Aerostaten 295.
Senkwage, s. Aräometer.
Sieden 607, bindet Wärme 611, verschiedene Menge der gebundenen Wärme 613
Siedepunkt 607, Verschiedenheit 608, von Salzlösungen 608, Veränderlichkeit 610, am Thermometer 536, Bestimmung desselben 537.
Silicate 83.
Sinusbussole 949.
Sirene 334.
Solenoid = elektrodynamischer Cylinder 1035, Wirkung eines festen Stromleiters 1036, Wirkung auf einen beweglichen Strom 1038, als Magnet 1038, als Declinatorium 1051.
Sonnenlicht, dessen Intensität 388, Zerlegbarkeit 447.
Sonnenmikroskop 512.
Sonnenwärme 667.
Sonometer = Monochord 337.
Spannungsreihe der Reibungselektricität 778, elektromotorische 846, thermoelektrische 975, 977, 1109.
Specifisches Gewicht 36, hydrostatische Messung 221, fester Körper 222, tropfbar flüssiger 223, durch Aräometer 224, Bestimmung des specif. Gewichtes der Gase 252, der Dämpfe 622, Tabellen des specifischen Gewichts XI, XII.
Specifische Wärme 580.
Spectrum = Farbenbild 447, Intensitätscurven des farbigen Lichtes 450, der chemischen Strahlen 525, der Wärmestrahlen 525, 571.
Speisevorrichtung an Dampfkesseln 216, 651.
Spiegel 393, verschiedene Arten 393, Planspiegel, concave 400, convexe 411, gemischte 412.
Spiegelsextant 399.
Spiegeltelescop = katoptrisches Fernrohr 520, Newton's 521, Herschel's 522, Gregory's 522.
Sprachgewölbe 363.
Sprachrohr 362.
Springbrunnen 197, natürl. 198, Heber-Springbrunnen 261.
Stechheber 262.
Steifigkeit der Seile, als Bewegungshinderniss 176.
Stereoskop 493.
Steuerung an Dampfmaschinen 653.
Stimmorgan 348.
Stöchiometrische Gesetze 78.
Stoffwandel = Affinität.
Stofs, centraler und excentrischer, gerader und schiefer 134, unelastischer Körper 135, elastischer Körper 141, flüss-

iger Körper 207, der Gase 298.
Strahlenbrechung, astronomische 423, irdische 424.
Strahlungsvermögen = Emissionsvermögen für Wärme 562.
Stroboskopische Scheiben 499.
Strohhalm Elektrometer Volta's 771, v. Brandes 772.
Strom, elektrischer s. Elektricität, Thermoelektricität und Elektrodynamik.
Strommesser 209.
Sublimation und Sublimat 620.
Suboxyd 88.
Südpol am Magnet 688, magnetischer der Erde 707, 1107.
Sulphuride 83.
Superoxyd 88.

T.

Tabellen, I. über bewegende Kräfte, II. der neuen französischen Maße, III. Vergleichungen der vorzüglichsten Maße und Gewichte, IV. des Meilenmaßes, V. Eintheilung der Maße und Gewichte der vorzüglichsten europäischen Staaten, VI. der Geschwindigkeiten, VII. der Elemente, VIII. über absolute Festigkeit, IX. über relative Festigkeit, X. über rückwirkende Festigkeit, XI. über die verschiedene Dichte des Wassers, XII. der specifischen Gewichte, XIII. Reductionen der Beaumé'schen Aräometergrade, XIV. der Aräometergrade von Richter und Tralles, XV. von Gauß zu barometrischen Höhenberechnungen, XVI. über die Volumenänderung fester Körper durch Wärme, XVII. über die specifische und relative Wärme der Körper und ihrer Relation zu dem Atomgewicht, XVIII. über die Elasticität des Wassergases von — 50° R. bis 0°, XIX. über die Spannkraft und Dichtheit der Wasserdämpfe von 0° bis 80° R., XX. die Spannkraft des Wasserdampfes von 1 — 10° Atmosphären, XXI von 11 — 50 Atmosphären, XXII. von 0° bis 220° C. nach Atmosphären, XXIII. u XXIV psychrometrische Tafeln nach August, XXV. zur Bestimmung der Stärke hydroelektrischer Ströme, — über die verschiedenen Modificationen der Festigkeit 108, der Reibungscoefficienten 172, über den mittlen Barometerstand am Meere 280, die Luftschichtenmethode Benzenberg's 282, die Stärke der Sonnenbeleuchtung der Planeten 384, die Lichtbrechungsverhältnisse 416, die Wellenlängen der Farben 465, zur Vergleichung des Quecksilber- u. Lufthermometers 543, der Ausdehnungscoefficienten der Gase 557, des Wärme-Strahlungsvermögens 563, des Wärme-Reflexionsvermögens 564, des Wärme-Durchstrahlungsvermögens 569, des Wärme-Leitvermögens 575, der Wärmecapacität fester Körper 587, der Schmelzpunkte 595, 600, der latenten Wärme 600, der Gefrierpunkte 606, der Siedepunkte 608, in verschiedenen Höhen 611, d. latenten Wärme von Flüssigkeiten 613, des elektrischen Leitvermögens der Metalle 882, der Flüssigkeiten 883
Tafel, Frauklinsche 805.
Tangentialkraft 53.
Telegraphie, elektrische 1098.
Temperatur 431, mittle des Tages, Monats, Jahres 674.
Temperatur in der Musik 336, 337.
Thaumatrop 499.
Thaupunkt 638.
Theilbarkeit 12.
Thermoelektricität 971, Spannung 973, Strom 974, Wirkungen 983, der Erde 990, Meinungen über die Entstehung der Thermoelektricität 992.
Thermoelektrische Ketten, einfache 979, Säulen 982.
Thermometer 535, Quecksilber- und Weingeist- 536, Sca-

len-538, Luft-541, Differenzial-544, magnetische 985.
Thermometrograph 540.
Thermomultiplicator 977.
Thermophon s. Trevellyan-Instrument.
Töne 333, Höhe und Tiefe 333, Grenzen der hörbaren 333, consonirende und dissonirende 334, ganze und halbe 336.
Tonleiter 335, diatonische 335, chromatische 336.
Tonverhältnifs = Intervall 335.
Toricelli'sche Röhre 253.
Toricelli's Versuch 253.
Torsionswage s. Drehwage.
Trägheit = Beharrungsvermögen 31.
Tragvermögen schwimmender Körper 215, 217, der Stahlmagnete 737, der Elektromagnete 1060.
Transmissionsvermögen für Wärme 568.
Transversalmagnet 734.
Trevellyan-Instrument = Thermophon 681.
Trogapparate, Oerstedt's 858.
Tropfbare Flüssigkeit 19, 184.
Tropfen 184.
Turmalin 973.

U.

Uebergangswiderstand 887, 1108.
Undulationen 305.
Undulationstheorie 372.
Undurchdringlichkeit 9.
Unterstützung des Schwerpunktes 123.
Unterstützungspunkt am Hebel 146.

V.

Variationen = Veränderungen des Barometerstandes 276, des Erdmagnetismus 717.
Verbindung, chemische = Mischung 71, Verhältnisse derselben 77, indifferente 88.
Verbrennung 95, durch Elektricität 835, 906.
Verdichtung der Luft 236, in der Mariotte'schen Röhre 268, im pneumatischen Feuerzeug 591, der Dämpfe 624, 630, bei Dampfmaschinen 646, 653, Einfluss auf die Wärmecapacität 491, der Elektricität 802, Apparate dazu 805, 819.
Vereinigungsweite der Lichtstrahlen 402.
Vergröfserung, optische durch Mikroskope 508, durch Fernröhre 514.
Vergröfserungsgläser 435, Loupen 511.
Vergröfserungsspiegel 407.
Verkleinerungsgläser 437.
Verlöschen 96.
Verschluckung, s. Absorption.
Verstärkungsflasche, s. Leidener Flasche.
Vertheilung, magnetische 692, 707, elektrische 767, 785.
Verwandtschaft, chemische 71.
Vibration 310
Vibrationstheorie 372.
Vierwegehahn s. Wechselhahn.
Voltameter 931.
Volumen 9.

W.

Wärme 530, ihre verschiedenen Wirkungen 530, ihre verschiedenen Zustände 531, Theorieen 532, 671, Ursache d. Volumenänderung der Körper 533, der verschiedenen Mefswerkzeuge für sie 535, der Volumenänderung starrer Körper 547, der Flüssigkeiten 554, der Gase 556, Bewegung 559, durch Strahlung 560, Abnahme der Intensität 561, Geschwindigkeit 561, Emission 462, Reflexion 563, Absorption 565, Transmission 568, Brechbarkeit 570, Polarisation, Doppelbrechung und Interferenz 572, durch Fortleitung 573, in festen Körpern 574, in flüssigen 475, in luftförmigen 577, Capacität 580, Methoden, diese zu bestimmen 582, Relation zu

dem Atomgewichte 489, Veränderlichkeit der Capacität 586, Ursachen davon 591, Ursache der Aenderung des Aggregatzustandes 594, das Schmelzen 596, das Erstarren 605, das Sieden 607, das Verdunsten 613, das Condensiren 620, die Eigenthümlichkeiten der Dämpfe und Dünste im Vergleich zu permanenten Gasen 621, Hygrometrie 634, Hygrometer s. d., Anwendung der Wasserdämpfe 641, Dampfmaschinen, Dampfheizung, Dampfkochapparate, s. d. Wärmequellen 667, durch Sonnenlicht 667, durch Aggregatänderung 670, der Erde 672, des Lebensprocesses 675, durch mechanische Mittel 676, durch Elektricität 834, 903, 1071, 1079, Vergleichungen zwischen Licht und Wärme 677.

Wärmecapacität, s. Wärme.

Wärmefarbe 570.

Wärmeleitung, s. Wärme.

Wärmeleitungsvermögen 574.

Wärmemesser 535.

Wärmespectrum 571.

Wärme und Licht 677.

Wage 150, verschiedene Arten 150.

Wahlverwandtschaft 73.

Wanne, pneumatische 262.

Wasser, verschiedene Dichtheit 555, Tab. XI., Wichtigkeit desselben hinsichtlich seiner Aggregatänderung 601.

Wasserdämpfe, Anwendung derselben, s. Wärme, Elektricität derselben 967.

Wasserhammer 610.

Wasserhosen 1004.

Wasserpumpe 257.

Wasserrad, Segner's 210.

Wasserzersetzung durch den elektrischen Strom 841, 924.

Wechselhahn an Luftpumpen 240, an Dampfcylindern 652.

Weitsichtig 496.

Wellen, fortschreitende 306, stehende 307, Kreiswellen der Flüssigkeiten 313.

Wellenberg 306.

Wellenbewegung 305.

Wellenlängen 306, 313, des Lichtes 465.

Wellenlehre 827.

Wellenrinne Weber's 313.

Wellenthal 306.

Wells Versuch über Wärmestrahlung der Erde 567.

Wetterglas 277.

Wetterregeln 277.

Widerhall, s. Echo.

Widerstand des Wassers und der Luft als Bewegungshindernisse 178.

Winkelhebel 147, 149.

Winkelspiegel 398.

Wrede's Versuch zur Ermittelung der Geschwindigkeit der strahlenden Wärme 561.

Wurfbewegung 48.

Z.

Zambonische Säule 872.

Zauberbrunnen = intermittirender Brunnen 264.

Zauberlaterne 514.

Zauberscheibe 499.

Zeitmafs 24.

Zeitmesser, der Pendel 132, 551.

Zerlegung der Kräfte 29.

Zerrbilder s. Anamorphosen.

Zersetzung, chemische, durch

Verbesserungen.

Seite.	Zeile.	
35	1	v. u. l. Erdmittelpuncte st. Erdmittelpunc.
44	5	v. o. l. $\frac{BC}{AB}$ st. $\frac{AB}{BC}$.
44	18	v. u. l. 1,5 F. st. 10 F.
44	2	v. u. l. $\frac{AC}{AB}$ st. $\frac{AB}{AC}$.
44	1	v. u. l. $AB : AC$ st. $AC : AB$.
49	9	v. o. l. Par. F. st. Pars.
52	3	v. o. l. 135 P. F. st. 240 P. F.
55	18	v. u. l. des Bewegten st. der Bewegten.
55	9	v. u. l. *afo* st. *afg*.
55	8	v. u. l. *ao* st. *ag*.
55	7	v. u. l. $\frac{af^2}{ao}$ st. $\frac{af^2}{ag}$.
55	2	v. u. l. den Durchmesser *ao* st. die Durchmesser *ag*.
57	7	v. o. l. *lc* st. *ec*.
57	16	v. o. l. *h* st. *k*.
66	15	v. u. l. der Anziehkraft der inneren Röhrenfläche, oder der . . . . st. die Anziehkraft der . . . .
66	1	v. u. l. die Tiefe st. der Tiefe.
67	10	v. u. l. darin st. darum.
68	12	v. o. l. der Flüssigkeiten st. der Flüssigkeit.
68	23	v. o. l. sogenannte Endosmose und Diffusion st sogenannte Diffusion.
71	16	v. o. l. Stoffwandel st. Stofswandel.
75	12	v. o. l. Metalloide st. Metalloid.
86	10	v. o. l. O^{12} st. O^2.
88	12	v. o. l. $\ddot{S}$ st. $\underline{\ddot{S}}$.
100	7	v. u. l. Gasblasen st. Glasblasen.
103	5	v. o. l. die sogenannten st. der sogenannten.
113	16	v. o. l. $\frac{l}{ggg}$. fbh^2 st. $\frac{l}{gg}$ $2fbh^2$.

Seite.	Zeile.	
114	13	v. u. l. $\sqrt{\frac{1}{2}}$ und $\sqrt{\frac{1}{3}}$ st. $\sqrt{2}$ und $\sqrt{3}$.
144	5	v. u. l. $\sqrt{\frac{1}{2}} : \sqrt{\frac{1}{3}} : 1$ st. $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$.
132	10	v. o. l. 51° 31′ st. 51 3′.
133	11	v. u. l. 440,353 st. 440,253.
139	6	v. u. l. 0,53293 . $\frac{1}{16}$. 750² st. 0,293 . $\frac{1}{16}$. 750².
148	5	v. o. l. $= L \,.\, bc \,.\, \sin.\, \beta$ st. $C \,.\, bc \,.\, \sin.\, \beta$.
159	9	v. o. l. bewegen st. wegen.
175	17	v. o. l. das st. cas.
191	14	v. o. l. Grundlinie st. Grundlage.
201	12	v. o. l. 50 . 12 . 0,04 = 24 st. (50″ × 0,04) 2.
201	7	v. u. l. 221739000000 st. 2 .. 21739000000.
204	18	v. u. l. 16″ st. 16′.
206	8	v. u. l. des Wassers st. der Wasser.
221	7	v. u. l. rein sein st. sein sein.
229	3	v. o. l. 1143,95 st. 1139,5.
229	10	v. o. l. 0,2045 st. 0,2043.
230	15	v. o. l. (§ 152) st. (§ 252).
230	9	v. u. l. Molecularkräfte st Melekularkräfte.
232	15	v. u. l. Expansion st. Expansien.
240	16	v. o. l. die zwischen st. der zwischen.
244	10	v. o. l. $\frac{1}{10}$ st $\frac{1}{4}$.
244	18	v. o. l. $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$ st. $\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$.
256	5.	v. o. l. Quadratzoll st. Quadratfuſs und Pariser Zoll st. Pariser Fuſs.
264	10	v. o. l. a, b und d st. a und b.
284	8	v. o. l. 45° st. 145°.
284	15	v. u. l. 10000 Toisen st. 1000 Toisen.
285	15	v. u. l. $b' = B' [1+0{,}00018 (T-T')]$ st. $b' = B' [1{,}+0{,}000 (T-T')]$.
287	11	v. o. l. $h = 10000\, lg : \frac{b}{b'} [\pm 0{,}0048 n]$ st. $h = 1000\, lg : \frac{b}{b'} [\pm 0{,}0048 n]$.
290	2	v. o. l. $= 2{,}49035$ st. $= 2{,}4903$.
290	7	v. o. l. $A' = 4{,}78147$ st. $A' = 0{,}78147$.
290	11	v. o. l. $lg \,.\, h = 3{,}30978$ st. $\log h = 3{,}30974$.
290	12	v. o. l. $h = 2040{,}7$ st. $h = 2040{,}5$.
292	19	v. o. l. von $2b$ st 26.
300	13	v. u. l. Endosmose st. Endesmose.
302	8	v. u. l. 28″ st. 28‴.
303	21	v. o. l. $c' = 2\sqrt{gb\frac{q}{d'}}$ st. $c' = 2\sqrt{g\frac{q}{d'}}$.

Seite.	Zeile.	
303	21	v. o. l. $c : c' = 2\sqrt{gb\frac{q}{d}} : 2\sqrt{gb\frac{q}{d'}}$ st. $c : c' = 2\sqrt{g\frac{q}{d}} : 2\sqrt{g\frac{q}{d'}}$.
303	14	v. u. l. schneller aus st. aus.
303	11	v. u. l. den Expansivkräften b, β der st. den Expansivkräften der.
304	7	v. o. l. können st. kann.
338	8	v. o. l. (§ 218) st. (§ 216).
338	20	v. o. l. (§ 218) st. (§ 216).
338	6	v. u. l (§ 213) st. (216).
339	14	v. o. l. (§ 218) st. (§ 216).
339	16	v. o. l. beschriebenen vierten Versuch st. beschriebenen Versuch.
340	15	v. u. l. § 217 st. § 215.
342	15	v. o. l. § 217 st. 215.
342	1	v. u. l. (§ 221) st. (§ 220).
355	17	v. o. l. 32×2 st. $32 + 2$.
355	18	v. o. l. 64×2 st. $64 + 2$.
356	14	v. u. l. Hörenden st. hörenden.
359	14	v. o. l. 750 Schritt st. 150 Schritt.
360	16	v. o. l. (§ 218) st. (§ 215).
365	2	v. o. l. AA Fig. 149 st. AA Figur.
375	4	v. u. l. Phosphorescenz st. Phosphorescens.
379	11	v. u. l. auf diese Weise st. auf Weise
383	1	v. o. l. um so schwärzer st. um so schwächer.
385	4	v. u. l. $5 . 5 = 25$ st. $5 . 25 = 5$.
388	5	v. u. l. Mitteln st. Mittel.
392	11	v. u. l. 5400 Meilen st. 54000 Meilen.
398	16	v. u. l. $\frac{360}{n} - 1$ t. $\frac{300}{n} - 1$.
400	11	v. o. l. $\angle y$ st. $\angle \gamma$.
400	12	v. o. l. $\angle y$ st. $\angle \gamma$.
414	9	v. u. l. die Scheidegrenze st. Scheidegrenze.
414	8	v. u. l. b rechtwinkelig st. die b rechtwinkelig.
426	4	v. u. l. Oberflächen st. Oberfläche.
434	12	v. o. l. vorletzten § st. vorigen §.
440	4	v. o. l. $-\frac{1}{\varphi} = -\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha}$ st. $-\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha}$.
449	9	v. u. l. 0,28 st. 028.
465	17	v. u. l. Millimeters st. Milliometers.
469	24	v. u. l. in der Figur an st. in der Fig. dn.
496	9 und 10	v. u. l. letztere st. erstere.
496	6 und 7	v. u. l. erstere st. letztere.

Seite.	Zeile.	
509	4	v. o. l. eine Nähnadel st. die Nähnadel.
511	9	v. o. l. 101 st. 201.
525	6	v. o. l. verschwindet st. verschwinde.
533	21	v. u. l. der Ansicht von La Place st. der im vorigen § angeführten Ansicht.
539	6	v. o. l. $C = \frac{1}{3} K$ st. $C = \frac{1}{3} C$.
669	9	v. o. l. 663 st. 563.
556	15	v. o. l. 902 — 932 st. 902 — 902.
558	14	v. o. l. $= 1 : 1 \pm ct$ st. $= 1 : \pm ct$,
558	15	v. o. l. $= V(1 \pm ct)$ st. $= V(\pm ct)$.
558	26	v. o. l. $= \frac{b}{b'} \cdot V(1 \pm 0{,}00366\, t)$ st. $= \frac{b}{b'} \cdot (1 \pm 0{,}00366\, t)$.
564	16	v. o. l. parallel, st. prallel.
581	19	v. o. l. $\frac{1}{25} \cdot 13{,}6$ st. $\frac{1}{25} \cdot 13{,}6$.
590	17	v. u. l. $R^2 O^3 - \bar{R}$ st. $R^2 O^3 - \dot{R}$.
597	8	v. u. l. sie bis zu st. sie zu.
599	17	v. u. l. Kolophonium st. Kalophonium.
605	7	v. u. l. der Körper st. den Körper.
613	15	v. u. l. 432 st. 430.
619	1	v. o. l. in derselben st. in demselben.
624	14	v. o. l. $= E(1 + \frac{1}{3000} t)$ st. $= E(1 + \frac{1}{1000})$.
662	6	v. o. l. 224 Fufs st. 24 Fufs.
667	10	v. u. l. X 215 st. IX 2$\frac{1}{2}$5.
709	12	v. o. l. Drehungsaxe st. Axe.
715	6	v. o. l. $\frac{1}{71^2}$ st. $\frac{1}{72^2}$.
746	17	v. u. l. legte st. lege.
777	16	v. u. l. $\pm$ Elektricitäten st. $+$ Elektricitäten.
821	13	v. o. l. derselbe st. dieselbe.
841	4	v. o. l. am $+$ Drahte st. am $-$ Drahte.
843	7	v. o. l. entgangen wäre st. entgangen sei.
846	13	v. o. l. Elektromotor st. Elektrometer.
846	16	v. o. l. Elektromotoren st. Elektrometern.
847	17	v. u. l. oder verplatinirt, st. und verplatinirt.
860	13	v. o. l. Zinkcylinder Z st. Zinkcylinder.
860	17	v. u. l. Platins P befindet, st. Platins befindet.
905	18	v. u. l. Korkstreifchen kk, st. Korkstreifchen.
949	4	v. o. l. Hilfe st. Hiife.
952	2	v. u. l. die Stromstärke der kleineren k st. die Stromstärke k.
1042	10	v. o. l. Fig. 369^b Tab. XII. st. Fig. 369.
1047	7	v. o. l. $efgd$ st $efgh$.
1049	2	v. u. l. 369^a und 369^b Tab. XII st. 869^a und ^{b}

1062	19	v. o. l. *m* st. *n*.
1062	14	v. u. l. Fig. 385^b st. 386^b
1069	17	v. o. l. Drahtenden st. Drehenden.
1080	12	v. o. muſs nach dem Worte: Umdrehung, eingeschaltet werden: vor dem Magnetpole *S* steht, und bei der folgenden halben Umdrehung.
1083	22	v. u. l. *M* st. *N*.
1083	6	v. u. l. Verrückung st. Verrüchung.
1084	11	v. u. l. Fig. 391^d st. Fig. 391^a
1088	18	v. u. l. VI. st. IV.

Tab. V, Fig. 136 u. 137 l. § 217 st. § 215.
- 138 l. § 218 st. § 216.
- 139 l. § 215 st. § 217.
- 140 l. § 215 st. § 218.
- 141 l. § 220 st. § 219.
- 142 l. § 221 st. § 220.
- 155 l. § 232 st. § 233.

Da die erste Abtheilung dieses Werkes bereits gedruckt war, als die Berichtigung des Ausdehnungscoefficienten der Luft durch *Magnus* und *Regnault* (s. S. 526) bekannt wurde, so ist dieser berichtigte Coefficient, statt des früher angenommenen, in die Formeln S. 251, 285, 286 und 335 zu übertragen.

XVI. Tabelle.

Ueber die Längenausdehnung verschiedener fester Körper beim Erwärmen von 0° bis 100° C.

(Gehler's phys. Wörterb. n. A. I, 582—585.)

Mit Hinzufügung der gemeinen Brüche.

(zu §. 379.)

Substanzen.	Länge bei +100° C., die bei 0° = 1 gesetzt.	Ausdehnungscoëfficient für + 100° C.	Beobachter.
Töpferzeug, braunes englisches	1,00012000	$\frac{1}{833}$	*Destigny.*
Tannenholz	1,00035200	$\frac{1}{284}$	*Struve.*
Glas, im Mittel	1,00089694	$\frac{1}{111}$	*Lavoisier* und *Laplace.*
Platin	1,00098390	$\frac{1}{101}$	*Dulong* und *Petit.*
Stahl, ungehärtet . . .	1,00107956	$\frac{1}{93}$	*Lavoisier.*
Gufseisen	1,00110940	$\frac{1}{90}$	*Roy.*
Stabeisen	1,00115600	$\frac{1}{86}$	*Borda* und *Tralles.*
	1,00126660	$\frac{1}{79}$	*Dulong* und *Petit.*
Stahl, gehärtet, bei +30° R. angelassen	1,00136900	$\frac{1}{73}$	*Lavoisier.*
Gold	1,00146606	$\frac{1}{68}$	—
Bronce	1,00181667	$\frac{1}{55}$	*Smeaton.*
Kupfer, gehämmert . .	1,00184110	$\frac{1}{54}$	*Dulong* und *Petit.*
Messing, gegossen. . .	1,00186671	$\frac{1}{53}$	*Lavoisier.*
- -Draht.	1,00187821	$\frac{1}{53}$	—
Silber	1,00190974	$\frac{1}{52}$	—
Zinn	1,00217298	$\frac{1}{46}$	—
Blei	1,00284836	$\frac{1}{35}$	—
Zink, gegossen	1,00294167	$\frac{1}{34}$	*Smeaton.*
- gehämmert . . .	1,00310833	$\frac{1}{32}$	—

XVII. Tabelle.

Ueber die specifische und relative Wärme der Körper und das Verhältnifs der specifischen Wärme zu den Atomgewichten.

(zu §. 399 und 402.)

C. Crawford, **Dt.** Dalton, **I.** Irvine, **G.** Gadolin, **Dz.** Despretz, **K.** Kirvan, **Mr.** Mayer, **R.** Regnault.

Name des Körpers.	s specif. Gew.	a Atomgew. n. *Berzelius*	c specifische Wärme.	r=sc relative Wärme.	n=ac Constante zu d. Atomgewicht. Mittelwerth=40.	$\frac{ac}{40}$
Einf. Körper.						
Wismuth . .	8,716	886,92(?)	0,03084 R.	0,2744	27,353(?)	0,7 (?)
Blei	11,330	1294,50	0,03140 R.	0,3558	40,647	1.
Platin	20,855	1233,50	0,03243 R.	0,6765	39,933	1.
Gold	19,240	1243,01	0,03244 R.	0,6241	40,328	1.
Quecksilber	13,800	1265,22	0,03332 R.	0,4596	42,149	1.
Antimon . .	4,450	806,92	0,05077 R.	0,2256	40,944	1.
Silber	10,474	1351,61(?)	0,05669 R.	0,5938	66,645(?)	1,7 (?)
Zinn	7,291	735,29	0,05695 R.	0,4148	41,345	1.
Arsen	5,760	470,04	0,08140 R.	0,4689	38,261	0,95
Kupfer . . .	8,257	395,70	0,09515 R.	0,7855	37,849	0,94
Zink	7,028	403,23	0,09555 R.	0,6723	38,526	0,96
Eisen	7,497	339,21	0,11379 R.	0,8475	38,597	0,96
Kohlenstoff (Diamant)	3,515	76,44(?)	0,14687 R.	0,5160	12,227(?)	0,3 (?)
Schwefel . .	1,950	201,17	0,20259 R.	0,3940	40,754	1.
Phosphor . .	1,735	196,14	0,25142 R.	0,4362	37,024	0,94
Zusammengesetzte Körper.						
Flüssige.						
Alkohol . .	0,793	—	0,62200 Dz.	0,4932	—	—
Terpentinöl	0,841	—	0,42593 R.	0,3583	—	—
Leinöl . . .	0,940	—	0,52800 K.	0,4963	—	—
Wasser . . .	1,000	—	1,00000	1,0000	—	—
Salzsäure .	1,153	—	0,60000 Dt.	0,6918	—	—
Salpetersäure	1,350	—	0,68000 Dt	0,9044	—	—
Schwefelsäur.	1,834	—	0,35000 Dt.	0,6454	—	—
Feste.						
Holzkohle .	0,360	—	0,24111 R.	0,8676	—	—
Eichenholz .	0,677	—	0,51000 Mr.	0,3453	—	—
Eis	0,921	—	0,90000 K.	0,8289	—	—
Wachs, weifs.	0,969	—	0,45000 G.	0,4361	—	—
Steinkohle .	1,370	—	0,19230 C.	0,2630	—	—
Coaks von Steinkohle	—	—	0,20001 R.	—	—	—
Graphit . .	2,000	—	0,20187 R.	0,4037	—	—
Crownglas .	2,450	—	0,20000 I.	0,4900	—	—
Flintglas . .	2,452	—	0,19000 Dt.	0,6540	—	—
Gufseisen .	7,251	—	0,12500 Dz.	0,9060	—	—
Messing . .	8,200	—	0,09391 R.	0,7700	—	—

Fortsetzung der XVII. Tabelle.

Gase.

(Nach Baumgartner's Naturlehre, 7. Aufl. p. 669.)

Name.	s specifisches Gew.	a Atomgewicht.	c specifische Wärme bei gleichem Gew.		r = sc relative Wärme bei gleichem Volumen.	n = ac Constante z. d. Atomgew. = 24.	$\frac{ac}{24}$
			Luft = 1.	Wasser = 1.			
Atmosphärische Luft	1,0000	—	1,0000	0,2669	1,000	—	—
Sauerstoff . .	1,1026	100	0,9069	0,2421	1,000	24,21	1.
Wasserstoff . .	0,0688	6	14,5348	3,8793	1,000	23,28	0,97
Stickstoff . . .	0,9760	88	1,0318	0,2754	1,000	24,20	1.
Kohlenoxyd .	0,9569	176	1,0267	0,2740	1,000	48,22	—
Stickstoffoxydul	1,5269	277	0,8035	0,2145	1,227	59,28	—
Kohlensäure .	1,5240	276	0,8195	0,2187	1,249	60,17	—
Oelbildendes Gas	0,9852	89	1,7898	0,4777	1,754	42,45	—
Wasserdampf bei 100° C.	0,6235	112	3,1369	0,8370	1,960	93,74	—

XVIII. Tabelle.

Ueber die Elasticität des Wassergases von −50° R. bis 0°.

Nach **Mayer's** Formel berechnet.

(zu §. 417.)

(Gehler's Phys. Wörterb. n. A. II. p. 351.)

Temperatur. R.	Elasticität. Par. Zoll.	Temperatur. R.	Elasticität. Par. Zoll.
− 50	0,0000	− 16	0,0196
45	0001	15	0224
40	0004	14	0255
35	0013	13	0289
30	0025	12	0328
29	0029	11	0371
28	0034	10	0418
27	0040	9	0471
26	0047	8	0530
25	0055	7	0595
24	0064	6	0667
23	0074	5	0747
22	0086	4	0835
21	0099	3	0934
20	0114	2	1038
19	0131	1	1154
18	0150	0	1282
17	0172		

XIX. Tabelle.

Ueber die Spannkraft und Dichtigkeit der Wasserdämpfe bei den Temperaturen von 0° bis 80° R.

Nach **Arzbergers** Formel berechnet.

(zu §. 417.)

Temperatur.		Spannkraft, ausgedrückt in Quecksilbersäul. v. 0° R. nach		Druck des Dampf. in Wien. Pfd. auf 1 Wien. Qu. Zoll.	Anzahl d. W. C.-F. Wasser-Dampf aus 1 Wiener Pfund Wasser.	Dichtigkeit d. Dampfes gegen jene des Wassers = 1.
R.	C.	Wien. Zoll.	Par. Zoll.			
0°	0°	0,132	0,128	0,058	4785,6	0,0000037
1	1,25	0,146	0,142	0,065	4333,7	0,0000041
2	3,05	0,162	0,157	0,072	3931,5	0,0000045
3	4,75	0,179	0,174	0,079	3571,3	0,0000050
4	5.	0,198	0,192	0,087	3248,5	0,0000055
5	6,25	0,218	0,212	0,096	2958,7	0,0000060
6	7,50	0,240	0,234	0,106	2698,2	0,0000066
7	8,75	0,264	0,257	0,117	2463,8	0,0000072
8	10.	0,290	0,282	0,128	2252,4	0,0000079
9	11,25	0,319	0,310	0,141	2061,7	0,0000086
10	12,50	0,349	0,340	0,155	1889,3	0,0000094
11	13,75	0,382	0,372	0,169	1733,5	0,000010
12	15.	0,418	0,407	0,185	1592,2	0,000011
13	16,25	0,457	0,444	0,202	1464,0	0,000012
14	17,50	0,498	0,485	0,220	1347,6	0,000013
15	18,75	0,543	0,529	0,240	1241,9	0,000014
16	20.	0,591	0,575	0,262	1145,7	0,000015
17	21,25	0,643	0,626	0,285	1057,9	0,000017
18	22,50	0,699	0,680	0,309	977,95	0,000018
19	23,75	0,759	0,738	0,336	904,86	0,000020
20	25.	0,823	0,801	0,364	838,06	0,000021
21	26,25	0,891	0,867	0,394	776,93	0,000023
22	27,50	0,964	0,939	0,427	720,95	0,000025
23	28,75	1,043	1,015	0,461	669,60	0,000027
24	30.	1,127	1,096	0,498	622,46	0,000029
25	31,25	1,216	1,183	0,538	579,17	0,000031
26	32,50	1,311	1,267	0,580	539,35	0,000033
27	33,75	1,413	1,375	0,625	502,69	0,000035
28	35.	1,521	1,480	0,673	468,92	0,000038
29	36,25	1,636	1,592	0,724	437,78	0,000041
30	37,50	1,758	1,711	0,778	409,05	0,000043
31	38,75	1,888	1,837	0,835	382,49	0,000046
32	40.	2,025	1,971	0,896	357,94	0,000050
33	41,25	2,171	2,113	0,961	335,23	0,000053
34	42,50	2,326	2,264	1,029	314,18	0,000057
35	43,75	2,490	2,423	1,102	294,69	0,000060
36	45.	2,664	2,592	1,179	276,60	0,000064
37	46,25	2,847	2,771	1,260	259,81	0,000068

Fortsetzung der XIX. Tabelle.

Temperatur.		Spannkraft, ausgedr. in Quecksilbersäulen von 0° R. nach		Druck des Dampfes in Wiener Pfd. auf 1 Wien. Qu.Zoll.	Anzahl d.W. C.-F. Wass.-Dampf aus 1 Wiener Pfd. Wasser.	Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1.
R.	C.	Wien. Zoll.	Par. Zoll.			
38°	47,50°	3,041	2,960	1,346	244,21	0,000073
39	48,75	3,246	3,159	1,436	229,71	0,000077
40	50.	3,463	3,369	1,532	216,20	0,000082
41	51,25	3,691	3,592	1,633	203,65	0,000087
42	52,50	3,931	3,826	1,740	191,93	0,000093
43	53,75	4,185	4,072	1,852	181,01	0,000098
44	55.	4,452	4,332	1,970	170,82	0,000104
45	56,25	4,733	4,606	2,094	161,31	0,000110
46	57,50	5,028	4,893	2,225	152,42	0,000117
47	58,75	5,339	5,195	2,362	144,10	0,000123
48	60.	5,665	5,513	2,507	136,32	0,000130
49	61,25	6,008	5,846	2,658	129,04	0,000138
50	62,50	6,368	6,197	2,818	122,21	0,000145
51	63,75	6,745	6,564	2,985	115,82	0,000153
52	65.	7,141	6,948	3,160	109,82	0,000162
53	66,25	7,555	7,352	3,343	104,18	0,000170
54	67,50	7,989	7,774	3,535	98,895	0,000180
55	68,75	8,443	8,216	3,736	93,922	0,000189
56	70.	8,919	8,679	3,946	89,250	0,000199
57	71,25	9,416	9,162	4,166	84,852	0,000209
58	72,50	9,935	9,668	4,396	80,712	0,000220
59	73,75	10,478	10,196	4,636	76,813	0,000231
60	75.	11,045	10,748	4,887	73,140	0,000243
61	76,25	11,637	11,324	5,149	69,673	0,000255
62	77,50	12,254	11,924	5,423	66,405	0,000267
63	78,75	12,897	12,551	5,707	63,320	0,000281
64	80.	13,569	13,204	6,004	60,406	0,000294
65	81,25	14,268	13,884	6,313	57,653	0,000308
66	82,50	14,997	14,593	6,636	55,049	0,000323
67	83,75	15,755	15,331	6,971	52,589	0,000338
68	85.	16,544	16,099	7,320	50,258	0,000353
69	86,25	17,365	16,898	7,684	48,053	0,000370
70	87,50	18,219	17,729	8,062	45,963	0,000386
71	88,75	19,107	18,592	8,454	43,984	0,000404
72	90.	20,029	19,490	8,862	42,106	0,000422
73	91,25	20,987	20,422	9,286	40,325	0,000440
74	92,50	21,981	21,389	9,726	38,636	0,000460
75	93,75	23,012	22,393	10,182	37,032	0,000480
76	95.	24,083	23,436	10,657	35,508	0,000500
77	96,25	25,194	24,516	11,148	34,059	0,000521
78	97,50	26,345	25,636	11,657	32,685	0,000543
79	98,75	27,538	26,797	12,185	31,376	0,000566
80	100.	28,775	28,001	12,732	30,129	0,000589

XX. Tabelle.

XXI. Tabelle.

Ueber die Spannkraft des Wasserdampfes von 1 bis 10 Atmosphären, und von 11 b. 50 Atmosph.

Nach Versuchen von Arago, Dulong, Girard und Prony, von 1 bis 24 Atm. nach Experimenten, v. 25 b. 50 berechnet.

(zu §. 417.)

Temperatur		Spannkraft des Wasserdampfes, ausgedrückt in						Druck, welchen der Dampf ausübt auf				Temperatur.	Spannkraft des Wasser-Dampfes in Atmosphären zu 0,76 Metres bei 100 R.
		Atmosph. zu 0,76 Metres v. 100 R.	Quecksilbersäulen auf 0° R. reducirt.					1 Qu.-Centimet.	1 Qu.-Zoll Wien.	1 Qu.-Zoll Preuss.	1 Qu.-Zoll Dresdn.		
R.	C.		Metres.	Wien. Zoll.	Par. Zoll.	Preuss. Zll.	Dresdn. Z.	Kilogrm.	Wien. Pfd.	Preuss. Pfd.	Sächs. Pfd.	C.	
80.	100.	1	0,76	28,852	28,075	29,058	32,204	1,033	12,800	15,108	12,313	180,03	11
89,76	112,2	1½	1,14	43,278	42,113	43,587	48,306	1,549	19,195	22,655	18,464	190,00	12
97,12	121,4	2	1,52	57,704	56,150	58,116	64,408	2,066	25,601	30,217	24,627	193,70	13
103,04	128,8	2½	1,90	72,130	70,188	72,645	80,510	2,582	31,995	37,763	30,777	197,19	14
108,08	135,1	3	2,28	86,556	84,225	87,174	96,612	3,099	38,402	45,325	36,940	200,48	15
112,48	140,6	3½	2,66	100,982	98,262	101,703	112,714	3,615	44,796	52,872	43,091	203,60	16
116,32	145,4	4	3,04	115,408	112,300	116,232	128,816	4,132	51,203	60,433	49,253	206,57	17
119,25	149,06	4½	3,42	129,834	126,337	130,762	144,918	4,648	57,597	67,980	55,404	209,40	18
122,46	153,08	5	3,80	144,260	140,375	145,291	151,020	5,165	64,003	75,541	61,567	212,10	19
125,44	156,8	5½	4,18	158,686	154,412	152,820	177,122	5,681	70,397	83,088	67,718	214,70	20
128,16	160,2	6	4,56	173,112	168,450	174,349	193,224	6,198	76,803	90,650	73,880	217,20	21
130,78	163,48	6½	4,94	187,538	182,487	188,878	209,326	6,714	83,197	98,196	80,031	219,60	22
133,20	166,5	7	5,32	201,964	196,525	203,407	225,428	7,231	89,604	105,757	86,194	221,90	23
135,50	169,37	7½	5,70	216,390	210,553	217,936	241,530	7,747	95,998	113,304	92,341	224,20	24
137,68	172,1	8	6,08	230,816	224,600	232,465	257,632	8,264	102,405	120,866	98,507	226,30	25
141,68	177,1	9	6,84	259,668	252,675	261,521	289,836	9,297	115,205	135,977	110,824	352,55	40
145,28	181,6	10	7,60	288,520	280,750	290,578	322,040	10,33	128,006	151,083	123,136	365,89	50

XXII. Tabelle.

Ueber die Expansivkräfte gesättigter Wasserdämpfe nach Atmosphären.

(Die Zehner der Centesimalgrade stehen in der ersten Verticalspalte, die Einer in der obersten Horizontalreihe.)

(zu §. 417.)

(Aus Fischer's mechan. Naturl. 4. Aufl. I, 597.)

C°.	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
0	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,011	0,011	0,012
1	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,023
2	0,024	0,026	0,027	0,029	0,031	0,033	0,034	0,036	0,039	0,041
3	0,043	0,046	0,048	0,051	0,054	0,057	0,060	0,063	0,067	0,071
4	0,074	0,078	0,084	0,087	0,091	0,096	0,101	0,106	0,112	0,117
5	0,123	0,129	0,136	0,142	0,149	0,157	0,164	0,172	0,180	0,189
6	0,198	0,207	0,216	0,226	0,237	0,248	0,259	0,270	0,282	0,295
7	0,308	0,321	0,335	0,350	0,365	0,381	0,397	0,413	0,431	0,449
8	0,467	0,486	0,506	0,527	0,548	0,570	0,593	0,616	0,640	0,665
9	0,691	0,718	0,746	0,774	0,803	0,834	0,865	0,897	0,930	0,964
10	1,000	1,035	1,071	1,108	1,148	1,187	1,230	1,273	1,315	1,407
11	1,406	1,453	1,501	1,551	1,601	1,655	1,708	1,763	1,820	1,878
12	1,938	1,998	2,062	2,127	2,193	2,261	2,330	2,401	2,475	2,550
13	2,627	2,705	2,786	2,868	2,943	3,040	3,128	3,219	3,312	3,407
14	3,507	3,609	3,704	3,811	3,921	4,037	4,134	4,252	4,373	4,481
15	4,607	4,735	4,854	4,988	5,121	5,262	5,405	5,534	5,677	5,818
16	5,972	6,128	6,274	6,438	6,605	6,776	6,932	7,110	7,272	7,457
17	7,635	7,838	8,013	8,212	8,415	8,701	8,812	9,027	9,224	9,446
18	9,673	9,879	10,115	10,33	10,57	10,83	11,08	11,31	11,57	11,81
19	12,08	12,35	12,60	12,89	13,18	13,44	13,75	14,05	14,31	14,63
20	14,96	15,25	15,58	15,89	16,23	16,57	16,89	17,25	17,61	17,95
21	18,32	18,66	19,05	19,44	19,80	20,20	20,58	20,99	21,32	21,80

XXIII. Tabelle

zur Auffindung der Spannkraft der Wasserdämpfe im Maximo der Dichtigkeit, durch das Psychrometer in Quecksilbersäulen nach Pariser Linien ausgedrückt; nach August.

Mit einigen Abänderungen aus Schubarth's Sammlung physikalischer Tabellen, Berlin 1836, entlehnt.

(zu §. 422.)

C°.	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	2,24	2,26	2,27	2,29	2,30	2,32	2,33	2,35	2,36	2,38
1	39	41	42	44	45	47	49	50	52	53
2	55	57	58	60	62	64	65	67	69	70
3	72	74	76	77	79	81	83	85	86	88
4	90	92	94	96	98	3,00	3,01	3,03	3,05	3,07
5	3,09	3,11	3,13	3,15	3,17	19	21	23	25	27
6	29	31	33	35	37	40	42	44	46	48
7	50	52	54	57	59	61	63	65	68	70
8	72	74	77	79	81	84	86	88	90	93
9	95	98	4,00	4,03	4,05	4,08	4,10	4,13	4,15	4,18
10	4,20	4,23	25	28	31	34	36	39	42	44
11	47	50	51	55	58	61	64	67	69	72
12	75	78	81	84	87	90	93	96	99	5,02
13	5,04	5,08	5,11	5,15	5,18	5,21	5,24	5,27	5,31	34
14	35	40	44	47	51	54	57	61	64	67
15	69	71	75	78	82	85	89	92	96	99
16	6,03	6,07	6,10	6,14	6,18	6,22	6,25	6,29	6,33	6,36
17	40	44	48	52	56	60	63	67	71	75
18	79	83	87	92	96	7,00	7,04	7,08	7,13	7,17
19	7,21	7,25	7,30	7,34	7,39	43	47	52	56	61
20	67	72	76	81	85	90	94	99	8,03	8,08
21	8,12	8,17	8,22	8,26	8,31	8,36	8,41	8,46	50	55
22	60	65	70	75	80	86	91	96	9,01	9,06
23	9,11	9,17	9,22	9,28	9,33	9,39	9,44	9,50	55	62
24	66	72	78	83	89	95	10,01	10,07	10,12	10,18
25	10,24	10,30	10,36	10,42	10,48	10,55	61	67	73	79
26	85	91	98	11,04	11,11	11,17	11,23	11,30	11,36	11,43
27	11,49	11,56	11,62	69	76	83	89	96	12,03	12,09
28	12,16	12,23	12,30	12,37	12,44	12,51	12,58	12,65	72	79
29	86	93	13,01	13,08	13,15	13,23	13,30	13,37	13,44	13,52
30	13,59	13,67	74	82	89	97	14,05	14,12	14,20	14,27
31	14,35	14,43	14,51	14,59	14,67	14,75	83	91	99	15,07

XXIV. Tabelle

zur Auffindung der Subtrahenden für die Ermittelung der Expansivkraft des Wasserdampfes nach der XXII. Tabelle.

Mit einigen Abänderungen aus Schubarth's Sammlung physikalischer Tabellen, Berlin 1836, entlehnt.

(zu § 422.)

C.°	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,00	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23
1	0,26	0,29	0,31	0,34	0,36	0,39	0,42	0,44	0,47	0,49
2	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75
3	0,78	0,81	0,83	0,86	0,88	0,91	0,94	0,96	0,99	1,01
4	1,04	1,07	1,09	1,12	1,14	1,17	1,20	1,22	1,25	1,27
5	1,30	1,33	1,35	1,38	1,40	1,43	1,46	1,48	1,51	1,53
6	1,56	1,59	1,61	1,64	1,66	1,69	1,72	1,74	1,77	1,79
7	1,82	1,85	1,87	1,90	1,92	1,95	1,98	2,00	2,03	2,05
8	2,08	2,11	2,13	2,16	2,18	2,21	2,24	2,26	2,29	2,31
9	2,34	2,37	2,39	2,42	2,44	2,47	2,50	2,52	2,55	2,57
10	2,60	2,63	2,65	2,68	2,70	2,73	2,76	2,78	2,81	2,83
11	2,86	2,89	2,91	2,94	2,96	2,99	3,02	3,04	3,07	3,09
12	3,12	3,15	3,17	3,20	3,22	3,25	3,28	3,30	3,33	3,35
13	3,38	3,41	3,43	3,46	3,48	3,51	3,54	3,56	3,59	3,61
14	3,64	3,67	3,69	3,72	3,74	3,77	3,80	3,82	3,85	3,87
15	3,90	3,93	3,95	3,98	4,00	4,03	4,06	4,08	4,11	4,13

Zur Berechnung der Gewichtsmenge des in einem Cubik-Meter Luft enthaltenen Wassergases dient folgende Formel:

$$w = \frac{39785 . e}{1000 + 4t},$$

in welcher e die Spannkraft des Wasserdampfes, t die Temperatur des trockenen Thermometers nach C. und w das zu suchende Gewicht ausdrückt.

Mit Hilfe der III. Tabelle läfst sich dann leicht der Werth von w auf jede andere Cubik-Einheit der Luft und des Gewichtes reduciren.

Ueber
den Gebrauch der XXIII. und XXIV. Tabelle,
das Augustsche Psychrometer betreffend.

1) Man sucht zuerst nach der XXIII. Tabelle für den beobachteten Temperaturgrad des feuchten Thermometers die zugehörige Zahl. Die Zahlen der ganzen Grade stehen in der ersten Längenspalte unter einander, die Zehntelgrade aber findet man in der obersten Querreihe über den Längenspalten. Die nach beiden gefundene Zahl giebt dann die Spannkraft des Wasserdampfes im Zustande der gröfsten Dichtheit an.

2) Da jedoch das in der Luft vorhandene Wassergas, wenn die Temperaturen beider Thermometer des Psychrometers differiren, nicht das Maximum der Dichtheit für die Temperatur des feuchten Thermometers besitzt, so findet man das Subtrahendum aus der Tabelle XXIV. Man ermittelt nämlich den Unterschied der Temperatur beider Thermometer, und sucht dann auf gleiche Weise, wie vorstehend für Tabelle XXIII gelehrt wurde, die Zahl, um welche der nach 1 gefundene Werth verringert werden mufs.

   Beispiel. Zeigt das trockene Thermometer + 22,6° C. das feuchte 16,4°, so ist die Spannkraft des Wassergases im Maximo der Dichtheit 6,18 Lin. Der Temperaturunterschied beider Thermometer beträgt 6,2°, es ist also 1,61 abzuziehen; die Spannung beträgt demnach nur 6,18 — 1,61 = 4,57 Linien.

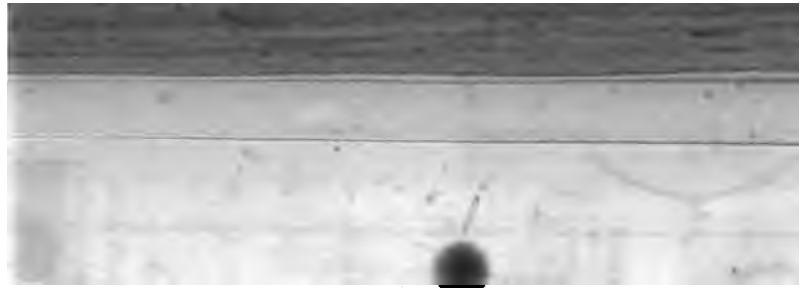
3) Will man die Procente des in der Luft enthaltenen Wassergases finden, so suche man erst die Expansivkraft desselben, dividire diese Zahl durch diejenige, welche das Maximum der Expansivkraft bei der Temperatur der Luft (also dem trockenen Thermometer) angiebt, und multiplicire den erhaltenen Quotienten mit 100.

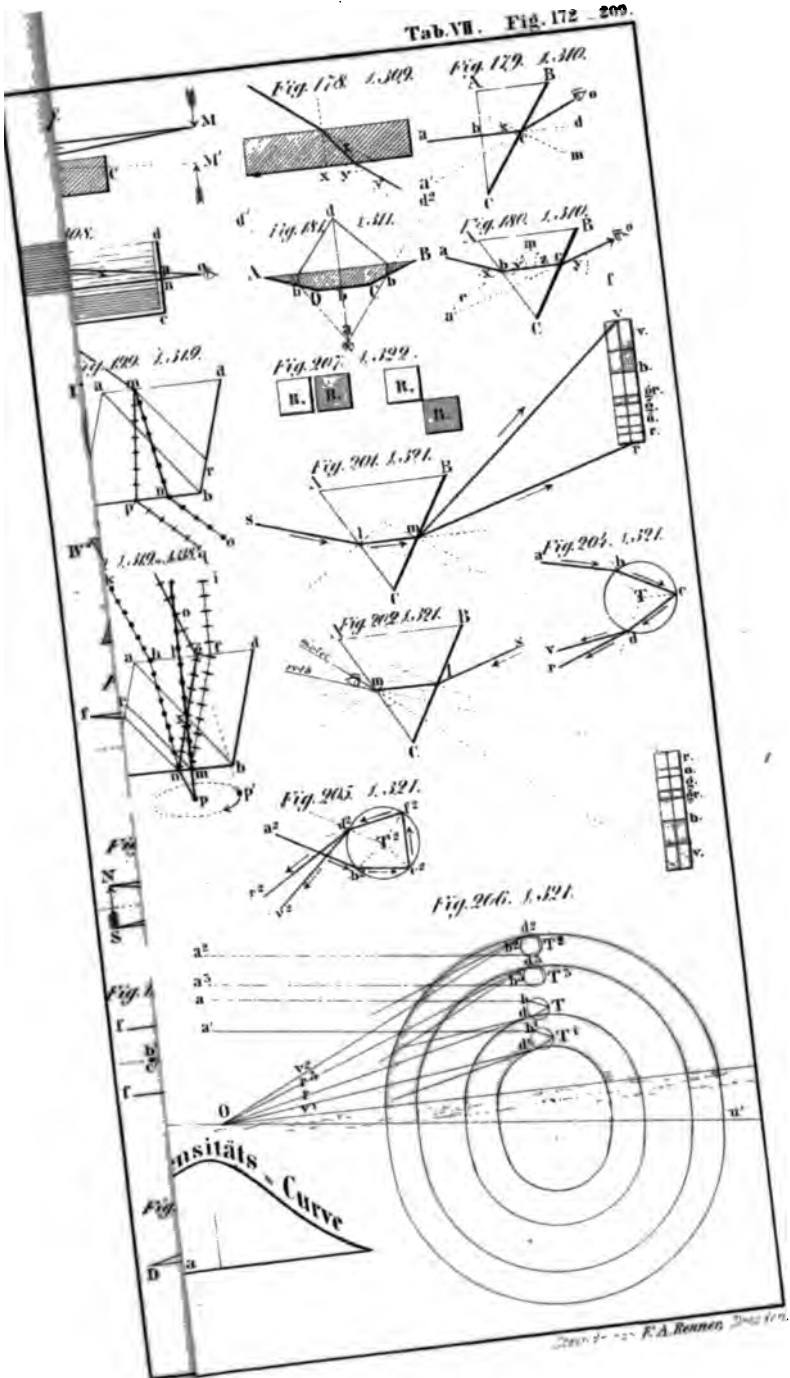
   Bei obigem Beispiele war die Spannkraft des Wassergases 4,57, die Temperatur des trockenen Thermometers war 22,6°, die dieser Temperatur entsprechende Spannung des Wassergases ist nach der Tabelle XXIII 8,91, folgl. betragen die Proc. des in der Luft vorhandenen Wassergases $100 \cdot \frac{4,57}{8,91} = 51,3$.

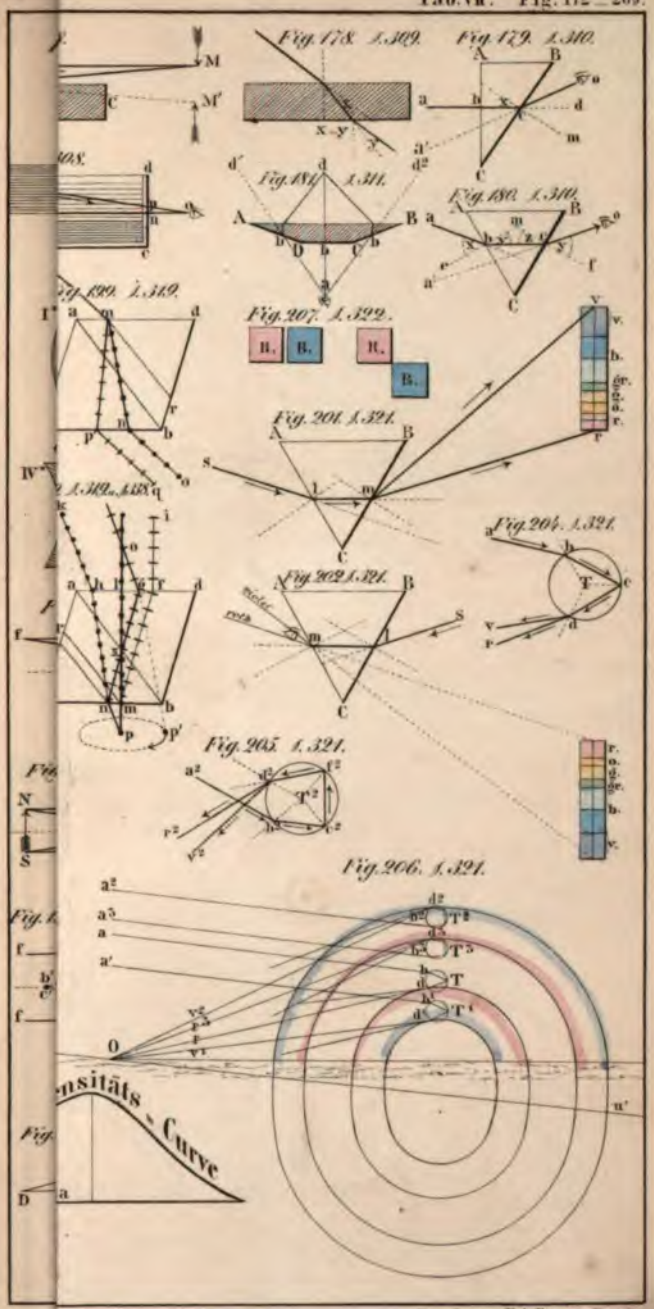
Will man nun nach der, der Tab. XXIV angehangenen Formel die Gewichtsmenge des in einem Dresdener Cub.-F. enthaltenen Wassergases berechnen, so suche man diefs erst für einen Cub.-Meter und multiplicire das erhaltene Resultat, nach der dritten Tabelle, mit der Reductionszahl der K. S. Cub.-Fufs. Nach dem gewählten Beispiele würde man also erhalten:

$w = \frac{28785 \cdot 4,57}{1000 + 4 \cdot 22,6} = 157,5 \cdot 0,022711 = 3,57$ Gran, oder

$3,57 \cdot 6,09 = 21,74$ Centigramm.

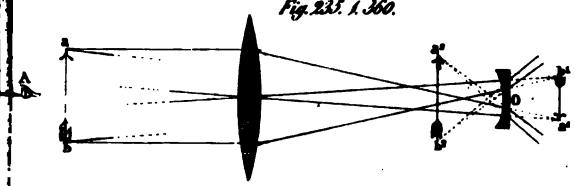



Tab. VII. Fig. 172 – 209.
Fig. 178. 1.309.
Fig. 179. 1.310.
Fig. 181. 1.311.
Fig. 180. 1.310.
Fig. 207. 1.322.
Fig. 201. 1.321.
Fig. 204. 1.321.
Fig. 202. 1.321.
Fig. 205. 1.321.
Fig. 206. 1.321.
nsitäts - Curve
F. A. Renner, Dresden.

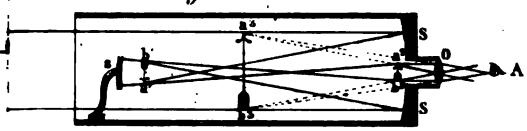


Steindr. von F. A. Rennec, Dresden

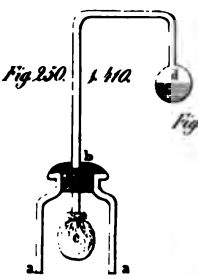
Galiläisches Fernrohr.
Fig. 233. S. 360.



Gregorys Spiegelteleskop
Fig. 238. S. 362.



Kryophorus.
Fig. 250. S. 410.



Haar-Hygrometer.
Fig. 253. S. 422.

Psychrometer.
Fig. 254.

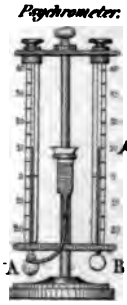


Fig. 258. S. 424.

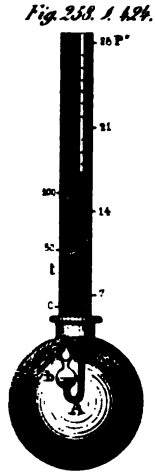
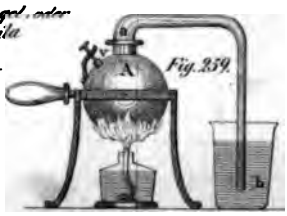


Fig. 256.

Angel- oder Pipette
S. 424.

Fig. 259.



Gedruckt von F. A. Brockhaus in Leipzig.

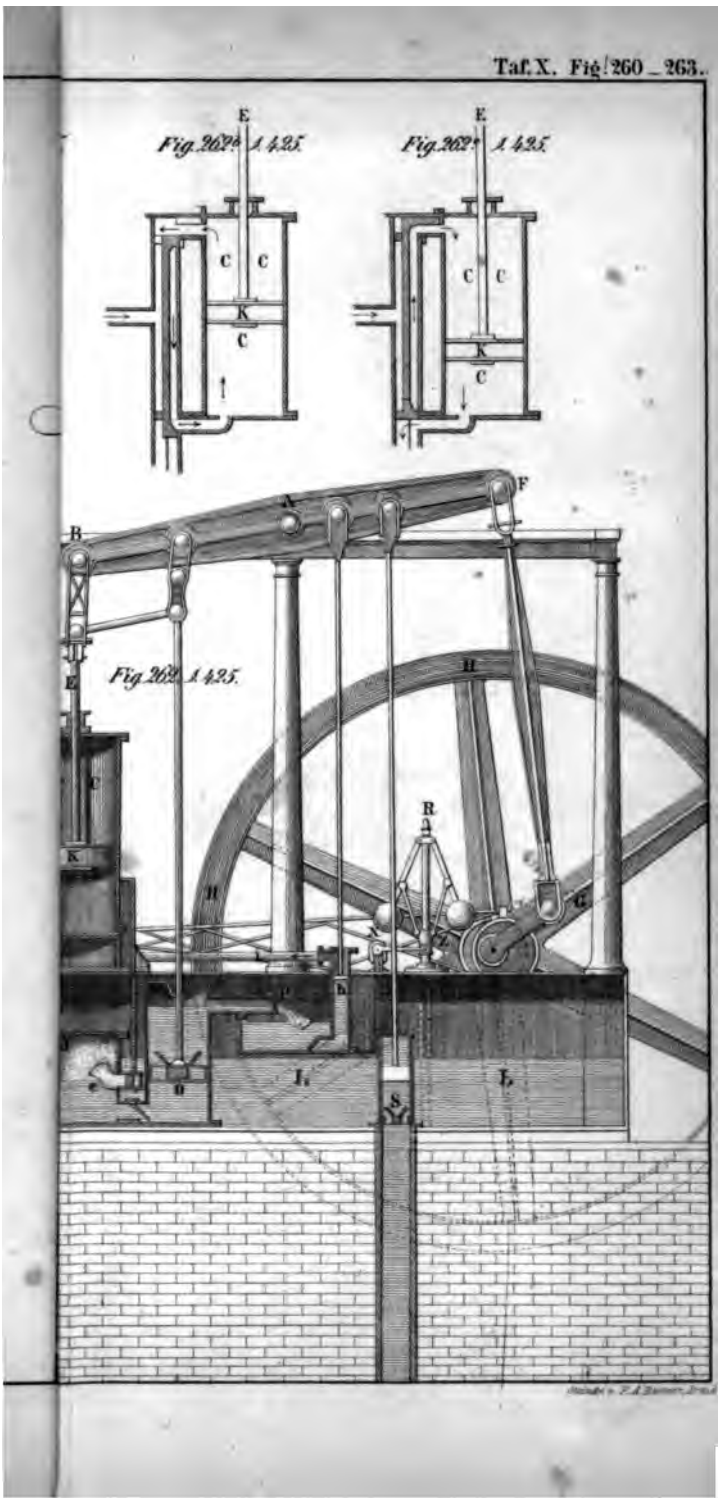


Fig. 260. 1/425.

Fig. 261. 1/425.

Fig. 262. 1/425.

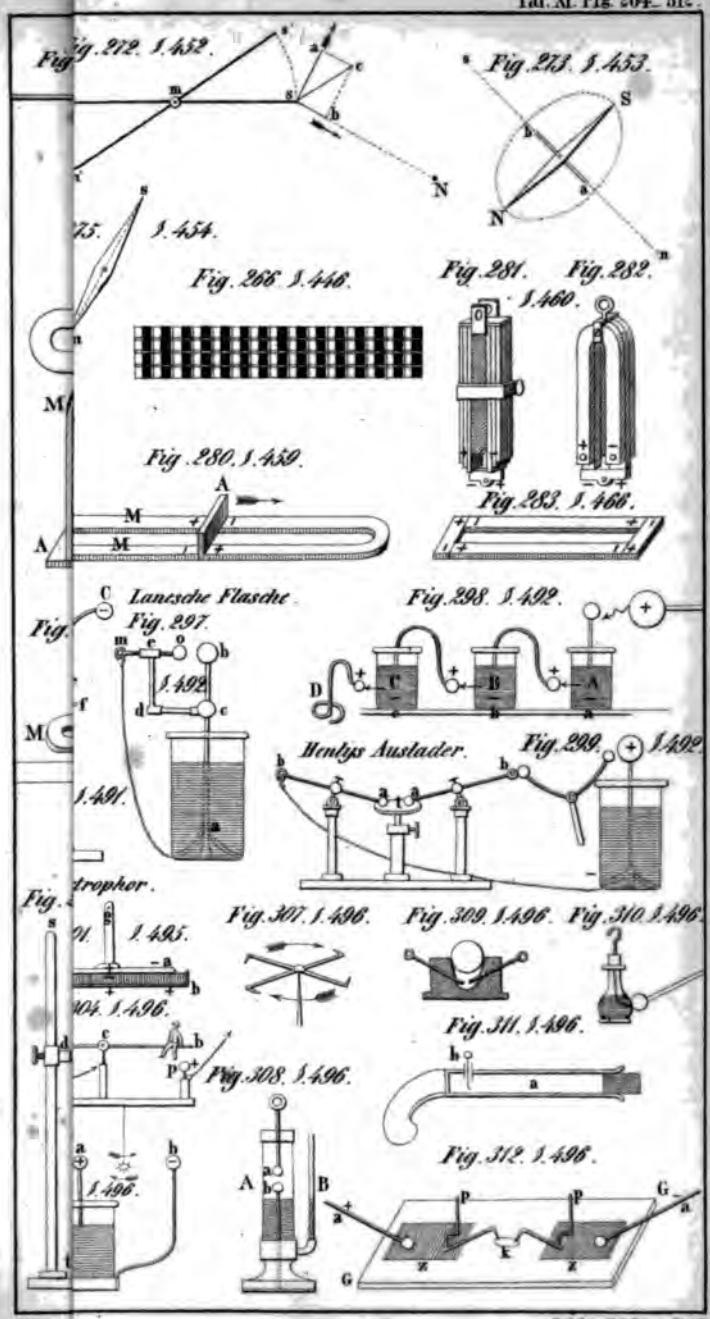


Fig. 272. §. 452.
Fig. 273. §. 453.
§. 454.
Fig. 266. §. 446.
Fig. 281.
Fig. 282.
§. 460.
Fig. 280. §. 459.
Fig. 283. §. 466.
Lanzsche Flasche.
Fig. 297.
§. 492.
Fig. 298. §. 492.
Henleys Auslader.
Fig. 299.
§. 492.
§. 491.
Fig. 307. §. 496.
Fig. 309. §. 496.
Fig. 310. §. 496.
§. 495.
§. 496.
Fig. 308. §. 496.
Fig. 311. §. 496.
Fig. 312. §. 496.

Kettenglied

h Faraday-Young.

ig 323. §. 511.

Zambonische Säule.

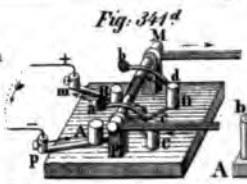
Fig. 325. §. 513.

rotrop.

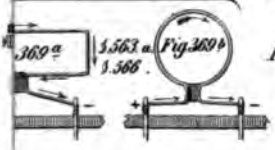
Fig. 342. §. 551.

Fig. 341c

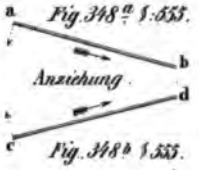
Fig. 341d



ende Stromleiter.



Roget's Spirale.



amische Gestelle.

Fig. 353a §. 555.

Fig. 350. §. 555.

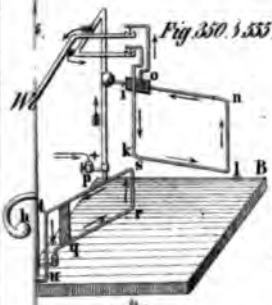


Fig. 353b §. 555.

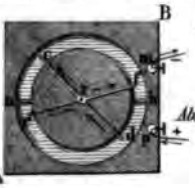


Fig. 349. §. 555.

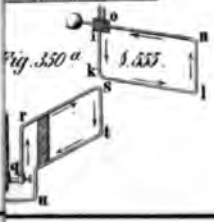
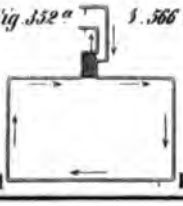
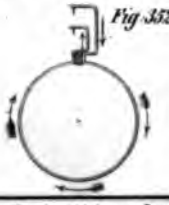
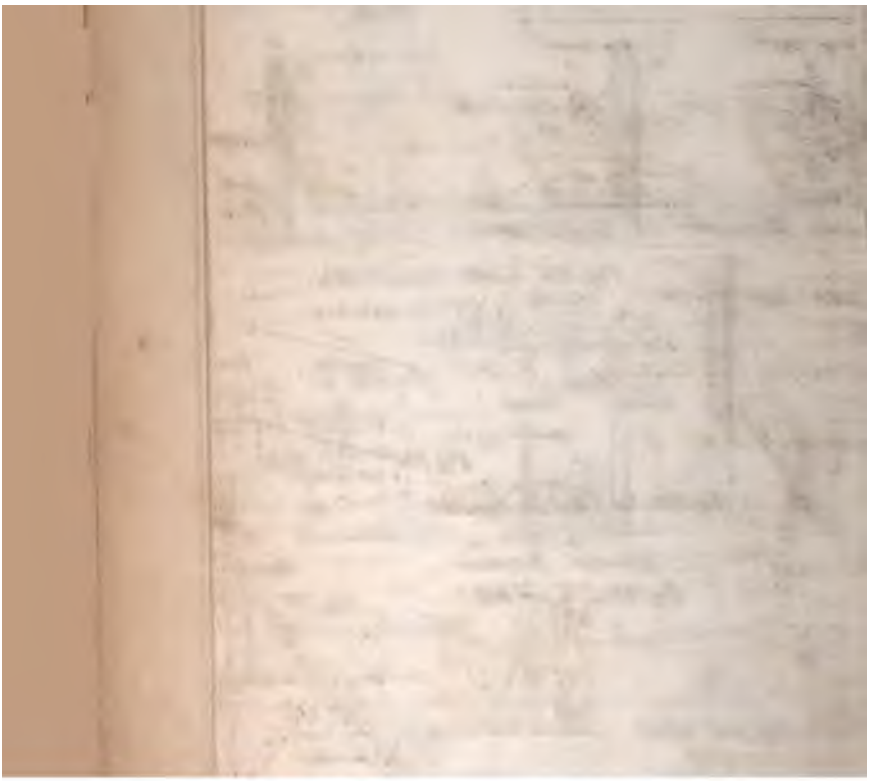


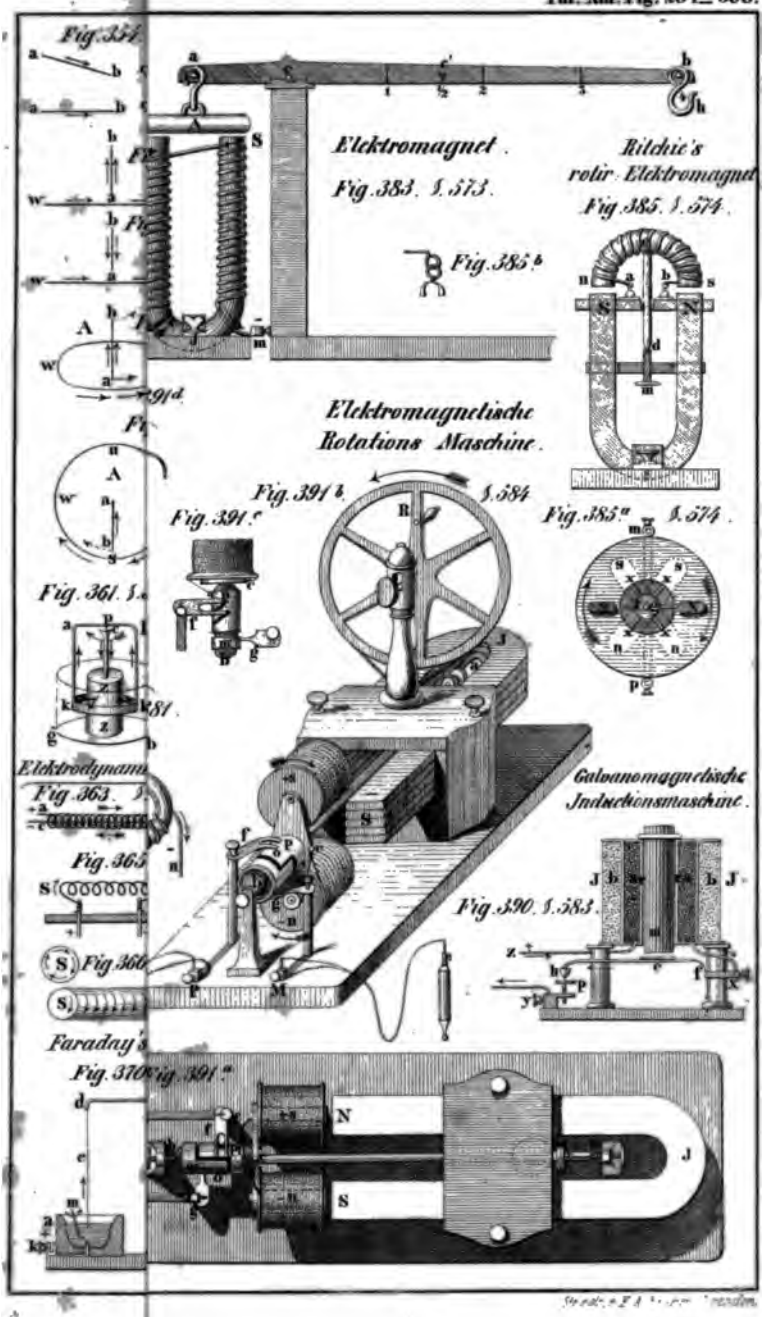
Fig. 352a §. 566.

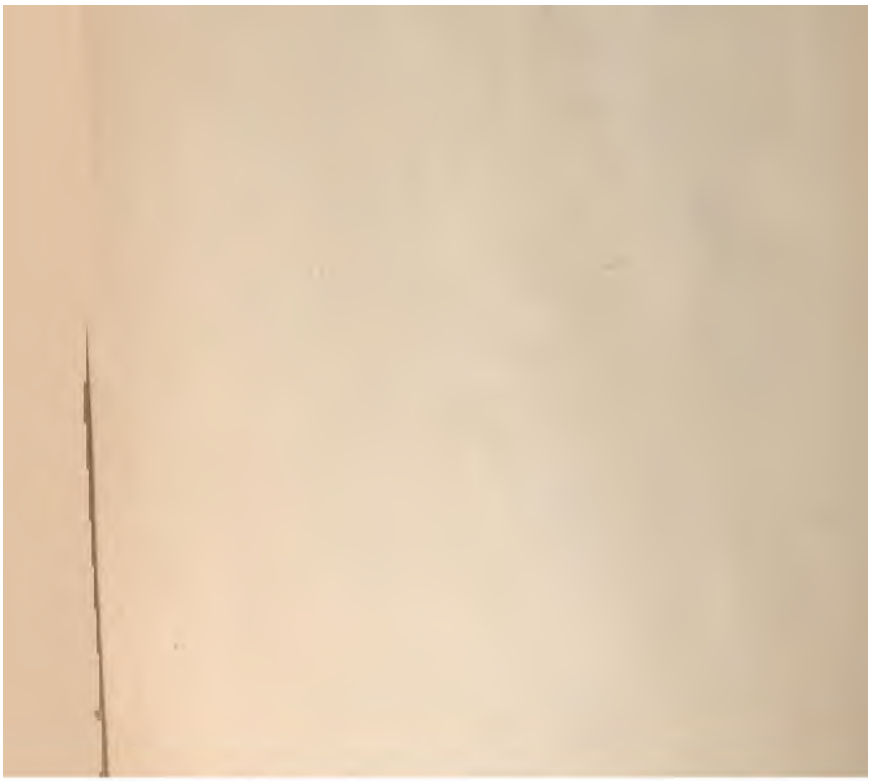




Steindr. v. F.A. Arnsnr. Dresden.

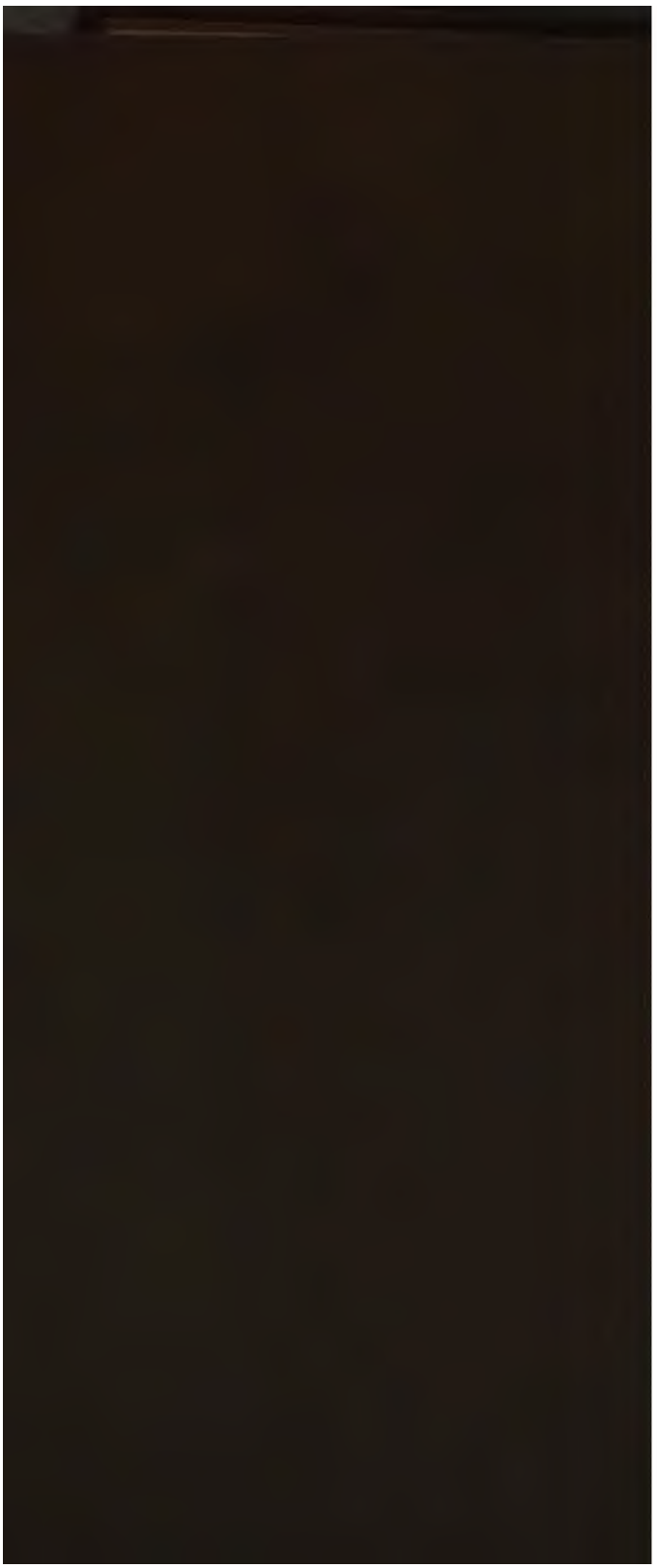



Elektromagnet.
Fig. 383. S. 573.
Ritchie's rotir. Elektromagnet
Fig. 385. S. 574.
Fig. 385.b
Elektromagnetische Rotations Maschine.
Fig. 391.b. S. 584
Fig. 391.c
Fig. 385.a S. 574.
Fig. 361. S.
Elektrodynam
Fig. 363.
Fig. 365
Fig. 360
Galvanomagnetische Inductionsmaschine.
Fig. 390. S. 583.
Faraday's
Fig. 391.a
N
S
J



THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
REFERENCE DEPARTMENT

This book is under no circumstances to be taken from the Building

Form 419

DEC - 8 1921